

基于灰色理论的 民用飞机全寿命周期 费用模型研究



徐华锋 / 著

基于灰色理论的民用飞机全 寿命周期费用模型研究

徐华锋 著

内 容 简 介

本书共分七章。第一章简要介绍民用飞机费用的研究现状及其本书研究的主要内容。第二章对民用飞机全寿命周期费用构成与结构进行分析。第三章和第四章介绍灰色可能性测度规划 (GPMP) 模型, 基于 GPMP 模型对民用飞机费用—效能进行综合权衡优化。第五章介绍含灰色参数的费用分布优化模型并对含灰色参数的民用飞机全寿命周期费用分布进行优化。第六章介绍几种改进的灰色预测模型, 并对民用飞机全寿命周期费用进行预测。第七章对相关研究进行了展望。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

基于灰色理论的民用飞机全寿命周期费用模型研究/徐华锋著. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 4

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9736 - 3

I. ①基… II. ①徐… III. ①民用飞机 - 预期寿命 - 费用效果分析 IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 061615 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 7.5

字 数 / 177 千字

版 次 / 2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 37.00 元

责任编辑 / 王美丽

文案编辑 / 孟祥雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

21 世纪以来,世界政治、经济和科学技术飞速发展,民用航空市场的竞争也日趋激烈,世界民用飞机的发展呈现一些新特点。首先,民用飞机产业是一个国家综合国力和竞争力的一种体现,各国政府大力扶持民用飞机的发展,世界民用飞机工业垄断态势不断得到强化。其次,同西方发达国家相比,我国民用航空总体上还存在差距,但中国民用飞机市场前景广阔,迫切需要发展自主创新的民用飞机产业,我国民用飞机的研制已初步具备冲击国际市场的能力。最后,民用飞机的研制往往重视技术、进度和质量,面对数额巨大的研制费用,越来越多的国家和地区认识到从全寿命周期角度进行管理和控制的重要性。

我国积累的相关费用数据相对有限,相关研究也比较少见。现有的文献主要有我国民用飞机研制的历史经验总结与研究;民用飞机产业发展战略研究;基于时间、进度、库存等因素的民用飞机项目研发管理研究;民用飞机费用参数研究;费用数据采集、预处理技术与模型研究;费用参数识别与筛选;全寿命周期费用评估模型研究;民用飞机使用维修等运营费用控制研究;投资优化方法研究;费用估算软件研究等方面。

现有的研究虽然取得了一些较为丰富的成果,但是关于费用问题的研究对象多为军用飞机、导弹等武器装备,针对民用飞机的极少见到。现有方法中,缺乏适合我国国情的民用飞机全寿命周期费用估算模型。对民用飞机的效能与费用进行综合权衡与决策的方法也比较缺乏。在周期比较长的民用飞机全寿命周期费用的预测过程中,考虑费用和时间的关系,估算全寿命周期费用分年度投资需要的模型较少。

本书从全寿命周期费用结构分析、灰色费用—效能的综合权衡优化、灰色时间—费用分布优化、灰色费用预测四个方面建立民用飞机的优化和预测模型。

在民用飞机全寿命周期费用结构分析方面,借鉴军用飞机和武器装备等大型系统全寿命周期费用模型分析的经验,建立民用飞机全寿命周期费用模型,通过实例对飞机的寿命周期费用及其他参数进行估算和优化。

在灰色费用—效能综合权衡优化方面,借鉴国外费用评估模型,建立民用飞机费用、效能和飞机参数之间的关系模型,采用最优化理论和方法计算得到三者的平衡点。利用灰色系统原理和可能性测度规划理论建立灰色可能性测度规划模型,利用数理分析和计算机灰色模拟方法以及遗传算法等对灰色可能性测度规划模型进行求解。将灰色可能性测度规划理论与费用—效能模型结合,建立基于灰色可能性测度规划的民用飞机费用—效能权衡优化模型,并且对民用飞机的费用—效能进行权衡优化。

在灰色时间—费用分布优化方面,采用经验估算法、线性回归分析法、高斯牛顿迭代法以及多峰值的分段建模法等对威布尔分布模型的参数进行估计。结合灰色系统理论引进灰色参数建立灰色威布尔分布模型,运用削峰填谷的方法和智能算法对民用飞机费用的分布情况进行估算和调整。

在灰色费用预测方面，对灰色系统理论中的灰色预测模型进行分析研究，建立优化灰色作用量的预测模型、改进白化方程的预测模型和基于矩阵序列的灰色预测模型。利用灰色预测模型对飞机的研制与采购费用、使用保障费用等进行预测。

西南财经大学的徐可欣阅读了本书的全部内容，对书中构思提出了一些意见，并帮助绘制了一些插图，谨致谢意！

书中的错误或者不当之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

著 者

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 对民用飞机费用进行全寿命周期管理的必要性	1
1.2 民用飞机费用相关研究现状	4
1.3 存在的问题	11
1.4 本书主要工作	12
1.5 组织与结构安排	13
1.6 本章小结	15
第二章 民用飞机全寿命周期费用构成与结构分析	16
2.1 民用飞机全寿命周期费用理论综述	16
2.1.1 全寿命周期费用的概念	16
2.1.2 全寿命周期费用研究的发展	17
2.1.3 民用飞机全寿命周期费用研究的作用和意义	18
2.2 民用飞机全寿命周期费用的构成	19
2.2.1 民用飞机研制费用构成	20
2.2.2 民用飞机生产采购费用构成	20
2.2.3 民用飞机使用保障费用构成	20
2.2.4 民用飞机退役费用构成	21
2.2.5 民用飞机全寿命周期费用结构	21
2.3 民用飞机全寿命周期费用估算	23
2.3.1 民用飞机研制阶段费用计算	23
2.3.2 民用飞机生产阶段费用计算	25
2.3.3 民用飞机使用阶段费用计算	26
2.4 基于全寿命周期费用构成的民用飞机费用及其参数优化实例	27
2.5 本章小结	29
第三章 民用飞机费用—效能权衡优化的灰色可能性测度规划 (GPMP) 模型研究	30
3.1 灰色变量的可能性测度	30
3.1.1 可能性测度	30
3.1.2 期望值算子	31
3.1.3 乐观值和悲观值	33
3.2 灰色可能性约束规划模型	34
3.2.1 灰色可能性约束规划	34
3.2.2 灰色可能性约束规划的确定性求解	37

3.2.3	灰色可能性约束规划的混合智能算法求解	39
3.3	灰色可能性相关规划模型	41
3.3.1	不确定环境、事件和可能性测度函数	41
3.3.2	灰色可能性相关规划	42
3.3.3	灰色可能性相关规划的确定性求解	43
3.3.4	灰色可能性相关规划的混合智能算法求解	45
3.4	灰色期望值模型	46
3.4.1	模型的一般形式	47
3.4.2	混合智能算法求解	48
3.5	本章小结	48
第四章	基于 GPMP 模型的民用飞机费用—效能综合权衡优化	50
4.1	费用—效能综合权衡优化	50
4.1.1	费用—效能权衡优化的目标	50
4.1.2	费用作为独立变量方法	51
4.1.3	效能模型	52
4.1.4	费用模型	54
4.1.5	权衡空间	55
4.1.6	费用—效能综合权衡优化模型	56
4.2	费用与效能中的不确定性	57
4.2.1	不确定性问题描述	57
4.2.2	权衡模型的不确定性研究	58
4.3	基于 GPMP 的费用—效能综合权衡优化模型	59
4.3.1	基于灰色可能性约束规化的权衡优化模型	60
4.3.2	基于灰色可能性相关规化的权衡优化模型	60
4.3.3	基于灰色期望值的权衡优化模型	61
4.4	民用飞机费用—效能综合权衡优化实例分析	61
4.5	本章小结	66
第五章	基于灰色参数的民用飞机全寿命周期费用分布优化模型	67
5.1	威布尔时间—费用模型	67
5.1.1	威布尔分布	67
5.1.2	威布尔时间—费用模型的建立	68
5.1.3	威布尔时间—费用模型的参数估计	69
5.1.4	威布尔时间—费用模型的不同形式	71
5.2	基于威布尔时间—费用模型的民用飞机全寿命周期费用分布	72
5.2.1	基于单峰值威布尔时间—费用模型的民用飞机研制费用分布	72
5.2.2	基于多峰值威布尔时间—费用模型的民用飞机研制费用分布	75
5.2.3	基于历史数据时间—费用模型的民用飞机研制费用分布	78
5.3	含灰色参数的民用飞机全寿命周期费用分布优化	81
5.3.1	活动时间和费用为灰色参数的多峰值威布尔分布的均衡优化	82

5.3.2	含灰色参数的民用飞机寿命周期费用网络计划仿真·····	82
5.3.3	含灰色参数的民用飞机寿命周期费用多峰值威布尔分布的均衡优化·····	84
5.4	本章小结·····	85
第六章	民用飞机全寿命周期费用灰色预测模型 ·····	87
6.1	灰色预测模型研究·····	87
6.1.1	优化灰色作用量的预测模型·····	87
6.1.2	改进白化方程的预测模型·····	92
6.1.3	基于矩阵序列的灰色预测模型·····	96
6.2	民用飞机全寿命周期费用预测实例·····	100
6.3	本章小结·····	106
第七章	结束语 ·····	107
	参考文献 ·····	109

第一章 绪 论

1.1 对民用飞机费用进行全寿命周期管理的必要性

21 世纪以来，世界政治、经济和科学技术飞速发展，民用航空市场的竞争也日趋激烈，世界民用飞机的发展呈现一些新特点。

(1) 民用飞机产业是一个国家综合国力和竞争力的一种体现，各国政府大力扶持民用飞机的发展，世界民用飞机工业垄断态势不断得到强化。

航空工业是一个国家的科技创新能力、工业水平和综合国力的重要体现。民用飞机产业是航空工业的重要组成部分，是带动科技发展、促进国民经济和社会发展的战略性产业，民用飞机的研制能力是衡量一个国家科技水平和工业水平的重要标志之一。作为一个国家尖端科技、工业基础和综合国力代表的民用飞机工业，已经成为强国的重要标志。一个国家即使是航空大国，如果没有自己的民用飞机工业，也不能算是航空强国。民用飞机工业的发展必将刺激经济增长，促进产业结构的调整和升级，降低对国外制造商的依赖度，改善国家的民航业结构，拉动多层次产业链条的协同发展。民用飞机制造工业不仅为下游产业的发展创造条件，而且获得自身利益，双方可以进入良性互动循环。民用飞机的大量出口利于塑造良好的国际形象，快速提高一个国家的国际地位；同时，还可推出自己的适航标准，从而获得较好的市场发展前景。

近几十年来，以美国波音公司和欧洲空客公司为代表的大型航空企业，在一些研究计划的支持下，投入大量人力、物力和财力，使民用飞机技术有了很大的发展。各民用飞机工业国家和地区，对民用飞机发展都制定了一系列促进政策，采取了多种补助方式。世界各民用飞机强国的民用飞机发展，更是得力于政府的大力支持。很多国家政府提供优惠贷款支持新机型的研发，在空中客车成立前，欧洲共同体中一些国家对空中客车公司的项目启动提供了财经支持，这些财经支持在项目不成功的情况下也是不需要返还的。欧洲共同体还在第二、三、四、五、六框架项目中对空中客车公司的民用飞机新机型的研发提供了专向性的补贴。欧洲共同体中许多成员国的航空工业部门通常承担航空科技研发成本的 50%，同时会参与设计及研发，其中法国政府就承担研发成本的 78%。在 A300 上马时，法国政府承担了法国宇航公司分摊的全部费用。在 A380 项目启动时，空中客车公司（简称空客公司）合伙公司所在国政府就提供了超过 36 亿美元的启动项目援助。

美国的民用航空工业在世界上占据领先地位，这与美国政府对民用航空工业持续不断的支持和干预是分不开的。1978—1988 年，美国政府给波音和麦道两个公司提供了 230 亿美元，其中 45% 是国防部以研究和发发展赠款的形式提供的。美国民用飞机制造商 1992—1997 年平均每年从国防部采购合同中获得的收益达 5.6 亿美元。除此之外，国防部还经常将民用飞机独立研发项目列入计划并给予资助。1993—1998 年，在美国国家航空航天局（National

Aeronautics and Space Administration, NASA) 联合波音与麦道共同启动的“高速研究项目”中, NASA 支付给波音和麦道 4.4 亿美元。NASA 还在 1992 年启动了“先进的亚声速技术项目”, 研制新一代亚声速民用喷气式飞机, 并为此投入了 8.18 亿美元。

经过几十年的发展, 在干线飞机和支线飞机等民用航空中高端产品领域, 世界民用飞机的垄断态势不断得到强化。全球干线飞机市场几乎被波音公司和空客公司两大航空巨头瓜分。波音公司和空客公司的民用飞机产品均已经形成了自己的系列, 从 100 座的低端干线飞机到 500 座的巨型干线飞机, 覆盖了不同的市场需求。俄罗斯图波列夫和伊留申联合体研制的图-204 和伊尔-96 等干线飞机的市场主要被局限在前苏联国家。支线飞机制造商之间的争夺日趋白热化, 诸侯割据的局面正在逐步转变, 先后有多家公司退出了支线运输机制造商的行列, 如美国雷神飞机公司和费尔柴尔德·多尼尔公司、英国 BAE 系统公司、瑞典萨伯公司、荷兰福克公司。目前, 巴西航空工业公司和庞巴迪公司成为支线运输机领域的“双雄”, 它们的产品在技术与市场方面都具有明显的优势, 垄断局面正在形成之中。而中国已经提出了支线运输机计划, 以期打入世界支线运输机市场。

(2) 同西方发达国家相比, 我国民用航空总体上还存在差距, 但中国民用飞机市场前景广阔, 迫切需要发展自主创新的民用飞机产业, 我国民用飞机的研制已初步具备冲击国际市场的能力。

我国民用飞机产业处于起步阶段, 国外民用飞机产业的高度发达状况已经对我国形成严重压迫之势。我国民用飞机产业虽已从最初的仿制阶段发展到现在的以我为主的研制阶段, 但与国外相比, 依然差距很大。主要体现: 一是核心技术缺乏, 自主创新能力与国外有一定差距, 新机型研制进展比较缓慢。二是产品技术落后, 缺乏支柱产品和新产品, 产品市场份额低, 竞争力弱, 产业规模小, 产业化程度低。三是我国民用飞机产业的自主配套能力不足, 发动机、关键元器件和材料、航空设备及系统严重依赖进口, 不能满足民用飞机产业的发展需求。四是适航取证能力比较弱。

20 世纪 80 年代以前, 我国民航线上尚且没有国产民用飞机, 伴随着运-7 系列飞机的诞生, 这种历史结束。20 世纪 90 年代初期, 在国内的两百多条航线上曾有 70 多架运-7 飞机在飞行, 后来运-7 又逐渐退出了民用飞机市场。从行业发展层面上讲, 我国重视航空产业, 民用飞机已被列为国家战略新兴产业进行重点培育和支持。我国的民用飞机工业已经形成体系较为完善的基础, 发展势头良好。国产的客运民用飞机主要是 C919、ARJ21 和新舟系列三种机型。C919 是大型客机, 定位于单通道 150 座级, 竞争机型是长期在单通道飞机市场占主导地位的波音 B737 系列和空客 A320 系列。

波音公司最近发布的世界航空运输业预测报告中的数据表明, 在未来的 20 年里全世界航空公司有超过 7 500 架支线飞机的需求, 大概需要新飞机 2.57 万架。近年来我国民航运输业高速发展, 现已成为世界第三大民航市场, 正处于良性发展周期。未来 20 年内将需要补充各型民用飞机 2 541 架。预计到 2029 年, 中国全货机机队规模将达到 579 架, 其中大型货机 158 架, 中型窄体货机 110 架, 中型宽体货机 150 架, 小型货机 161 架。其需求还将在良性发展的轨道上渐趋旺盛。良好的国际国内市场需求前景为我们提供了广阔的市场空间。

发展航空工业必须坚持自主创新的原则, 没有其他捷径可走, 从国家和企业的发展来

讲,我们都应该坚持这一原则。多年来,我国航空工业历经了多次国际合作之路,但一次次的失败留给我们更多的是教训。从整体上看,我国航空工业在世界范围内处于中等水平,如果不能从根本上解决中国的民用飞机的研制问题,势必会影响中国在未来世界的战略地位。在这样的背景下,航空航天业被列作我国“十二五”战略性新兴产业和高端装备制造业的发展方向。在航空方面,将重点加快大型飞机研制,大力发展系列支线飞机、通用飞机和直升机,重点突破发动机重要机载系统和关键设备。研制和发展民用飞机被列为国家科技中长期发展规划中十六个重大科技专项之一,是增强我国综合实力和国际竞争力的重大战略举措,也是建设创新型国家的标志性工程。我国民用飞机制造业通过几代航空人孜孜不倦的追求和努力,已经拥有具备自主知识产权、有较强国际竞争力的产品,形成了较为完备的产业结构,初步具备了向国际民用飞机市场冲击的能力。

(3) 民用飞机的研制往往重视技术、进度和质量,面对数额巨大的研制费用,越来越多的国家和地区认识到从全寿命周期角度进行管理和控制的重要性。

民用飞机研制采用大量高新技术,包括制造工艺创新、材料选用、控制系统研究、电子信息系统设计、动力完善等复杂技术的综合应用,研制过程十分复杂。然而长期以来,民用飞机研制项目的管理更侧重于在材料、设计、工艺等复杂技术方面上取得突破,对质量、进度和技术的关注远远大于对经费的关注,客观上使经费使用不合理的风险增加了。随着航空工业的不断发展,民用飞机的性能指标也在全面提升,工艺要求越来越苛刻,设计也越来越复杂,加上通货膨胀的影响,民用飞机的研制费用、使用保障费用等各种费用大幅度增长。民用飞机各项费用的增长成为制约飞机发展的一个关键因素,我国要实现大型民用飞机的跨越式发展,除了需要在关键的技术领域取得重大突破之外,更需要花大力气控制费用。在目前社会主义市场经济环境下,企业追求利润最大化,民用飞机的研制过程中,缺乏全寿命周期费用的观念,导致费用涨、进度拖、指标降的现象在一定的范围内存在。因此,加强民用飞机全寿命周期费用的管理和控制是民用飞机研制中的重要任务之一。

西方一些国家为了提高有限资源和经费的使用效率,研究提出了很多方法。美国的调查数据表明,一直以来美国用于维修的维持费都在设置费的10倍以上,因此把资产的设置费和维持费放在一起进行全寿命周期费用管理变得非常必要。美国通用电气公司提出价值分析法,在商品具备规定性能的前提下,尽可能使设置费和维持费的总和达到最小。然后美国开始进行全寿命周期费用的研究,使用费用—效能分析来控制采购费用,颁发了一系列指令和文件。20世纪70年代,全寿命周期费用分析从军事系统走向民用系统。20世纪80年代后,全寿命周期费用分析、评价逐步向标准化方向发展,出现了大量有关全寿命周期费用评价、分析和管理的理论和实践。20世纪70年代后期,日本也开始进行全寿命周期费用评价,提出了飞机费用研究的基础问题是全寿命周期费用的估算。

经过不断探索,与飞机进度、性能、设计等因素一样,全寿命周期费用成为与它们并列的几个重要权衡因素之一。全寿命周期费用的组成结构主要是研究发展费用、生产采购费用和使用保障费用。全寿命周期费用是在一个系统的寿命周期内,研制过程、生产使用过程、维护过程和支援过程所引起的间接的、直接的、循环的以及其他有关费用的总和。开展全寿命周期费用研究的目的是研究研制与开发、生产与采购以及使用保障三个组成部分之间的

关系,以及这三个组成部分对飞机生产、设计、使用的影响,揭示民用飞机全寿命周期费用发展的规律,从而采取各种有效的方法对其进行控制。

与国外相比,我国在民用飞机的技术上基本没有优势,但应该比运-10上天飞行的时候有了长足的进步。问题是目前的民用航空市场被波音公司和空客公司垄断,如果我国研制的飞机仅仅能够飞上蓝天是明显不够的,只有参与国际竞争,才能有更好的发展。因为飞机结构复杂、费用昂贵、研制周期长,所以照此发展,在经济方面未来的飞机是不能进行大量生产并投入使用的。解决这样的问题的一种途径是让设计方法更合理,使飞机在满足性能要求的同时,费用尽可能低;另一种途径是研究新的高效费比的飞机,使新型号的飞机在满足任务需求的同时,费用尽可能低。因此,民用飞机的全寿命周期费用问题在飞机的设计中至关重要。多年来,传统的“以最低研制、采购费用为经济原则”和“重性能、轻费用”等思想一直在主导我国民用飞机的发展。我国在全寿命周期费用分析管理和评价等方面的工作起步较晚,通过借鉴国外经验,取得了很大进展。有关全寿命周期费用的构成、建立费用数据库、估算方法、预测模型等工作,还需要进一步加强。只有通过探讨民用飞机全寿命周期费用与其性能要求之间的相互影响,深入进行全寿命周期费用的研究来设计经济合算的民用飞机才能使民用飞机的采办和设计更加合理。

1.2 民用飞机费用相关研究现状

我国积累的民用飞机相关费用数据相对有限,相关研究也比较少见。现有的文献主要有我国民用飞机研制的历史经验总结与研究;民用飞机产业发展战略研究;基于时间、进度、库存等因素的民用飞机项目研发管理研究;民用飞机费用参数研究;费用数据采集、预处理技术与模型研究;费用参数识别与筛选研究;全寿命周期费用评估模型研究;民用飞机使用维修等运营费用控制研究;实物期权在战略投资优化方面的应用研究;系统仿真及其费用估算软件研究等方面。具体情况如下:

1. 我国民用飞机研制的历史经验总结与研究

研制大飞机是历届中国政府都考虑和讨论过的问题,并分别作出过不同程度的努力,结果却不尽如人意。北京大学政府与企业研究所所长路风教授对中国大型飞机的历史与发展战略进行了调研,完成了《中国大型飞机发展战略研究报告》,对大飞机项目的意义、历史教训以及战略决策的原则等问题作出了分析和建议。张洪飏从民用飞机的发展目标和发展途径、民用飞机工业的行业管理和行业政策对中国民用飞机的发展进行了阐述。也有不少学者、专家从民用飞机研制的机制体制创新、规划实施方面面临的困难与挑战、如何开展国际合作、面临的技术障碍、人才匮乏、研制经费的超支等各个方面对我国民用飞机的研制情况进行了总结和分析。

2. 民用飞机产业发展战略研究

2007年2月26日,温家宝总理在国务院常务会议上指出,我国航空工业已经具备发展大型飞机的技术和物质基础;并表示中国将把大飞机研制作为国家战略,使大飞机的设计制造发展为有竞争力的产业。民用飞机产业属于国家的战略产业,如何培养该产业的能力,并为其选择正确的战略发展路径,最终保持其持续竞争优势是目前急迫需要研究的问题。详细

地分析他国的成功经验,有助于中国在产业发展道路上作出更加正确的决策。当今世界,美国波音、加拿大庞巴迪、欧洲空客、巴西安巴拉是四大民用飞机制造商,其中,巴西安巴拉是支线民用飞机市场最有力的角逐者,虽然规模不及前三者,但其净收入和股票业绩却最好。国外的民用飞机产业的发展对我国的民用飞机产业具有很好的借鉴作用。钱思佳从新产业组织、技术能力理论和产业竞争力的交叉视角出发,通过对我国民用飞机产业发展历程回顾,总结分析产业发展过程中存在的问题,借鉴比较国外的成功经验和失败教训,结合波特的产业竞争力分析框架,深入系统地探讨了我国民用飞机产业的发展环境。在理论框架和实证研究的基础上,构建了我国大飞机产业发展机理模型,分析研究了影响产业发展的关键因素。黄强等从产业发展战略的角度,陈述了巴西民用飞机产业发展的历程与现状,对产业发展的重大战略转折点进行了理论评析,提出了巴西民用飞机产业对中国民用飞机产业发展的借鉴之处。王科研究了民用航空产业的发展特点,并利用古诺模型和斯坦克尔伯格模型演绎了航空制造寡头在产量和价格方面的博弈;运用产业链理论,对民用航空产业链的组成和建构进行了详细的剖析。张辉对中国民用飞机产业发展的外部环境因素进行了系统研究和分析,总结了民用飞机产业发展面临的外部机会与威胁;对中国民用飞机产业发展的内部条件进行了分析,综合 EFAS 矩阵分析和 IFAS 矩阵的分析结果,运用 SWOT 分析方法分析了民用飞机产业发展面临的机遇与威胁、优势与劣势;确定选择了民用飞机产业发展的战略,即自主创新、集聚目标、整合联盟、成本领先,从而获得了竞争上的优势。魏拴成和张洪雁对我国民用飞机工业发展的历史进行了回顾,对民用飞机工业发展战略失败原因进行了分析。张吉昌、孙敏通过产业链拆分对大飞机制造技术进行了分类,探寻各环节的技术策略,便于中国利用最少的成本在最短的时期内研制出具有自主知识产权的大飞机。亓连军提出:应该转变发展模式,立足于自力更生,把发展干线飞机制造业作为国内各种力量的共同目标 and 责任,在政府的组织协调下,吸引内外各种力量积极参与,克服资金和品牌“瓶颈”,打开我国干线飞机制造业新局面。肖雪对中国民用飞机产业竞争情报的必要性进行了分析。中国民用飞机产业发展面临的主要竞争压力和竞争情报工作使得中国民用飞机产业的竞争情报工作非常必要。在分析我国民用飞机产业竞争情报现状的基础上提出了我国目前民用飞机竞争情报工作存在的问题,如民用飞机企事业内部信息交流机制不畅通、市场竞争机制不健全、民用飞机竞争情报工作外部信息环境不完善等,就如何解决民用飞机竞争情报工作存在的问题提出了详细对策。

3. 基于时间、进度、库存等因素的民用飞机项目研发管理研究

飞机研制项目是一项复杂度高、创新性强的系统工程。成功的飞机研制项目能够实现巨大的经济和社会效益,反之会带来巨大损失。江红雨应用项目风险管理技术方法,分析了飞机研制项目风险因素,统计了飞机研制项目风险案例,结合系统工程思想,构建飞机研制项目风险测评指标表,综合应用飞机研制项目工作分解结构和故障模式影响分析等技术方法,进行飞机研制项目方案确认阶段的进度风险分析。在飞机研制项目风险分析的基础上,设计飞机研制项目风险控制流程,设置风险预警信号,不仅让项目管理者可以全面掌握项目风险情况,还便于项目管理组织及时规避风险。孙刚通过分析国内飞机型号管理的现状及特点,研究了涡扇支线飞机 ARJ21 项目管理的内涵,分析了航空工业项目研发管理的特点,并以产品数据管理为工具,分析了飞机设计和制造企业对产品数据管理实施的需求,对产品数据

管理实施中的流程管理进行了探讨,提出了产品数据管理的实施方案、实施目标、实施的方法和步骤。备件服务作为民用飞机运营的重要保障,同时是资金占用的最大源头,所以,飞机制造商十分重视备件库存安排的合理性。备件库存涉及备件中心库和备件分库的选址规划、库存控制、备件采购、仓储管理等方面的内容。高宁从备件支援整体出发,阐述了备件支援策略,分析了初始库存在制造商备件支援体系中的重要作用;阐述了针对新型飞机建立备件初始库存的原则,并用工程方法对初始库存中的备件种类进行了选择。对 ARJ21 飞机备件进行合理的分类,建立了初始库存量预测模型,对备件初始库存需求进行定量计算和优化分析。彭伟通过分析 APU 相关部件之间的逻辑关系,明确了在进行 APU 相关部件的拆换工作时的注意事项,以及应采取哪些措施来避免错误的发生,对航空公司在 APU 时间的精确管理上有一定帮助。邓玉东以涡扇支线客机 ARJ2 飞机生产进度管理为对象,研究了 ARJ21 飞机进度体系及进度管理模式,提出了多层次项目进度计划体系和飞机制造项目进度管理的标准化方法。施宁结合我国航天型号工程管理的实际,研究了航天型号工程管理的特点、面临的形势和存在的问题,提出了需要改进的地方;针对计划与进度控制方面,分别研究了型号工程管理与项目管理的具体做法,并进行了比较分析;介绍了有关项目管理软件,指出了在推行中需要注意的问题。

4. 民用飞机费用参数研究

构建费用参数体系是进行费用评估的基础。目前学术界主要从全生命周期角度考虑费用参数,认为航空型号费用主要包括研制费用、生产制造费用、使用维修费用和报废费用。王宜新等人给出了民用飞机全寿命成本的计算模型,提出了面向飞机总体参数的优化方法,开发了遗传算法优化程序,在统计分析历史数据的基础上,基于回归分析给出了相关公务机总体参数的估算公式,为飞机总体设计参数的选取提供了依据。李晓勇和宋文滨总结了民用飞机全寿命周期成本研究方法,介绍了民用飞机型号研制中通常采用的成本估算方法和软件工具,一方面对不同市场条件下的计算分析模型进行了对比,指出了发展更可靠的直接维修成本模型的必要性。另一方面通过将经济性分析模块有机融入传统飞机设计流程,提出了面向经济性设计的总体思路,为民用飞机的多学科设计提供了基础。兰德公司研究建立了发动机的成本模型,主要费用参数包括发动机通过样机验证实验之前的研制成本模型、总研制成本模型、产量成本模型等。严盛文建立了一个典型改进改型飞机的研制费用分解结构,费用主要包括试飞费用、军工专项费用、设计费用和实验费用等。首先建立了军用飞机改进改型研制的费用分解结构,阐明了与新研飞机在各分项费用上的差别,基于当量工程的概念提出了改进改型研制的费用修正和各分项费用的减缩系数的估计方法,结合参数估算模型建立了改进改型研制的费用估算模型。王洁和魏法杰介绍了美国武器研制费用的管理法规、体系以及相关的费用估算方法,分析了美国参数估算法的主要内容,评述了我国武器研制费用管理的现状,提出了一些改进我国武器装备研制费用管理方法的建议。兰德公司的报告中提出了建立军机研发和生产的成本评估模型,并且提供了人工耗费类、工程类、材料耗费类等 7 种模型。此外,成本分解结构 CBS 是费用参数构建的一种常用方法,是将工程项目以成本结构维度进行分解。项目的投资及成本管理的核心数据以及所有业务数据都会围绕着成本分解结构组织关联起来。

5. 费用数据采集、预处理技术与模型研究

费用数据的采集与预处理是开展费用估算的前提与基础。目前,在许多领域的数据分析中都涉及数据预处理问题,如曲线拟合、信号处理、数据挖掘、模式识别等在武器装备研制费用数据采集、处理方面的应用。朱莉等在收集大量的数据资料的基础上,采用多元统计分析技术,对数据进行处理,同时把费用的影响因素作为说明性变量,研究各说明性变量与费用间的相互关系,采用主成分分析方法,从影响武器型号费用的参数指标中选取“最佳”的参数组合,得到费用估算模型。支持向量机是近年来发展起来的一种有效的非线性问题处理工具,它是基于小样本的统计机器学习理论,因其良好的学习能力在费用预测领域应用较广。余珺等针对支持向量机的不同核函数有不同的预测推广,在多核优选的情况下提出支持向量机预测法,对武器装备费用进行预测。在武器装备费用数据采集、处理方面,国内外学者进行了较为深入的研究。美国进气道畸变实验准实时分析系统采用并行计算方法对 F-15 飞机模型进行费用数据处理,提高了畸变指数幅度及峰值出现时刻的测量分析精度。白桦等在分析传统费用数据筛选、处理方法优缺点的基础上,结合陆军武器装备研制特点,提出了一种新的费用数据筛选与处理方法。赵英俊等探讨了费用数据采集的目的与要求、费用数据的来源、采集形式以及费用数据处理等问题。梁庆卫等分别采用灰色系统、模糊聚类等理论对鱼雷寿命周期费用数据进行了分析处理。张美璐针对项目分解中 WBS 方法的不足,以制造业项目为例,对数据的采集和处理进行了探讨与研究。范鹏轩等基于 AHP 构建数据挖掘算法模型,拓宽了数据挖掘算法模型的类型和应用领域。朱泰英运用基于 AHP 法的数据包络分析方法,建立了主客观集成的多目标综合评价模型。

6. 费用参数识别与筛选研究

费用参数识别与筛选研究主要包括以下三种情况:一是基于主成分分析法确定最佳参数组合;二是基于支持向量机降低参数结构风险;三是采用粒子群优化费用参数。朱莉等将武器型号费用影响因素作为说明性变量,采用主成分分析法从费用参数指标中筛选了一组最佳费用参数组合;Vapnik 和朱家元等采用支持向量机建立了武器装备费用预测模型,有效降低了费用参数的结构风险,然后采用模型对整套机载电子设备费用进行了预测。高尚和刘铭采用主成分分析法选择武器研制费用的特征参数,并利用支持向量机建立参数费用模型。蒋铁军等采用径向基神经网络建立了参数识别模型,采用粒子群优化算法获得了模型优化参数。Parsopoulos 给出了粒子群优化算法收敛的参数条件。郭广生对陆军武器装备采办过程中的费用管理进行了研究。孟庆成等运用灰色理论及神经网络模型建立了基于灰色-神经网络的大跨度斜拉桥的施工全过程参数识别方法。A. Hac 等研究了一种在噪声环境下,多自由度系统的参数识别方法。这种方法以相当低的计算费用,可获得可靠的系统参数的估计值。在重大国防费用采办项目中高欣用技术成熟度模型对美国重大国防采办项目实施程序进行了模拟研究。郭金玉等运用 AHP 法与其他分析法在数据识别和筛选等领域进行了比较研究,突出了其优越性,取得了理想的效果。蒋铁军等研究提出了武器系统费用估算中参数法的形式化方法,对参数模型的建立、目标函数的建立以及优化参数的求取进行了分析。考虑到模型对样本数据的适应能力,采用径向基神经网络建立参数模型。针对模型的推广能力和拟合精度之间的矛盾以及两者的要求,提出了建立一种折中的目标函数。针对目标函数的参数较多、形式较为复杂的特点,采用粒子群优化算法计算得到模型的优化参数。该方法从本质上

解决了参数法的模型建立、参数优化等问题，既可以对新参数模型提供理论上的指导，也可以在实践中推广应用，通用性较好。

7. 全寿命周期费用评估模型研究

有关全寿命周期费用方面的学术著作近年来也有很多，但大多数研究集中在军事装备建设领域，例如，曲东才对装备全寿命周期费用的内涵进行了简述，对美、中武器装备全寿命周期费用管理过程进行了比较，阐述了武器装备费用-效能的分析方法和全寿命周期费用分析的关键问题；徐宗昌综述了装备建设推行综合寿命周期费用的方法；刘国庆对航天装备寿命周期费用进行了估算与控制；徐廷学对导弹武器系统进行了研究；梁庆卫等对鱼雷武器系统进行了研究。在武器系统全寿命费用控制与分析的方法方面，罗飞等对系统动力学在武器装备全寿命费用控制中的应用进行了研究；赵磊等对神经网络在武器装备全寿命费用分析中的应用进行了研究；陈永龙等对寿命周期费用估算中的敏感度分析进行了研究；梁庆卫等对模糊主成分法在武器系统寿命周期费用建模的应用中进行了研究。张恒喜将寿命周期费用分析对我军装备建设的作用进行了归纳，阐明了其主要意义为：对寿命周期费用的深入研究可以提高我军的装备可靠性和维修性。只有对寿命周期费用进行深入研究，才能转变我军装备研制、采购的决策观念；只有对寿命周期费用进行深入研究，才能充分发挥现有的国防经费使用效益。在我国民用项目领域也出现了一些文献，如谭庆对建设项目设计阶段投资控制采用了寿命周期费用分析方法进行了研究。王智慧对全寿命费用分析在项目建设方面的应用进行了介绍。

国内外普遍采用的全寿命周期费用评估模型有参数法、工程法、类比法、趋势外推法和专家判断法等。近年来，一些新兴学科开始应用于全寿命周期费用估算的研究当中，其中比较典型的方法有神经网络方法和灰色预测方法。参数估算法主要是根据多个同类装备的历史费用数据，选取对费用敏感的若干个主要物理与性能参数，运用回归分析等方法进行数据处理，建立费用与参数之间的数学关系式，进而估算寿命周期费用。费用参数估算法的准确程度主要取决于模型建立是否可靠，因此当前全寿命周期费用参数估算法研究主要侧重于机体研制费用估算模型、飞机机载电子设备研制费用估算模型、发动机研制费用估算模型和飞机维修保障费用估算模型等具体模型构建问题。工程估算法是利用工程分解结构自下而上计算各项费用，将整个装备系统在寿命周期内的所有费用单元累加起来得出寿命周期费用估计值。闫彦等依据作业成本法思想，构建了一种以 BOM 为主线的成本估算模型。专家判断估算法是专家根据经验判断估算出装备的全寿命周期费用估计值。它由多个专家根据经验独立判断预测出装备寿命周期费用的估计值，并对其进行综合以提高预测准确度。专家判断估算法一般在费用不足或没有足够统计样本以及难以确定参数费用关系式时使用。人工神经网络是由大量简单处理单元广泛连接而形成的，以模拟人脑行为为目的的复杂网络系统，该系统是靠其状态对外部输入信息的动态响应来进行处理信息的。1993 年，A. Shtub 和 Y. Zimmerman 首次将其应用于装配系统的成本费用估算。基于神经网络模型的选择，目前出现了 BP 神经网络寿命周期费用建模法、基于径向基函数神经网络寿命周期费用建模法等。灰色系统是指部分信息已知、部分信息未知的系统，而灰色系统理论是研究解决灰色系统分析、建模、预测、决策和控制的理论。武器装备系统特性指标与费用之间的非确定关系即是一种灰色关系，运用灰色预测理论可以描述飞机费用与费用驱动因子之间的数学关系。

解建喜等把灰色预测应用于无人机维修费用估算中,取得了较为准确的预测结果。杨梅英等针对样本量较少、变量之间线性相关程度较高的情况,建立了一种发动机研制费用预测的灰色组合模型;郭继周等考虑到装备使用保障费用数据量有限、复杂多变,提出了基于灰色理论的费用预测的方法;陈勇研究了民用飞机使用阶段的维修成本,提出了一种基于灰色理论的年度机体维修成本预测方法。

8. 民用飞机使用维修等运营费用控制研究

随着科学技术的发展,设备性能和技术复杂度的提高,民用飞机的维修成本已经达到了购买价格的 $2/3$,直接运营成本的 $10\% \sim 20\%$,是全寿命周期成本的一个重要组成部分。无论是航空公司还是飞机制造商都给予了它极大的关注。吴静敏以维修成本为研究对象,从全系统、全寿命的角度研究了维修成本控制与分析的基本概念、主要内容和实施程序,构建了较为完整的方法体系,同时开发了实用化的辅助决策支持系统。维修性是民用飞机的重要特性之一,对民用飞机寿命周期费用有着决定性影响。维修性设计是提高产品维修性的重要手段,为了克服传统维修性设计面临的成本过高、周期过长、难以进行设计修改等缺陷,陆中深入研究了民用飞机维修性并行设计关键技术,建立了相应理论与模型,以支持维修性并行设计。鉴于目前主要凭借经验进行民用飞机系统维修规划的不足,蔡景建立了以维修优化模型为基础的民用飞机系统维修规划方法。针对单部件维修优化模型不能完全满足系统维修规划要求的情况,从多部件维修优化的角度出发,对民用飞机系统维修中亟待解决的并联系统维修优化、单元体系统的维修优化、备用系统维修优化、系统维修方案的制定等问题进行了深入研究,开发了我国首个用于民用飞机系统维修规划的决策支持辅助系统。刘春红就基于可靠性的民用飞机维修成本进行了研究,研究讨论基于可靠性的维修成本理论基础,并对维修成本优化中涉及的相关参数进行了详细论述,为民用飞机维修成本的分析、优化研究奠定基础;针对可靠性参数和民用飞机研制数据特点,采用基于改进粒子群神经网络的直接维修成本分析方法,实现了定量的直接维修成本分析;基于可靠性设计参数和维修性设计参数建立了民用飞机维修成本模型,采用协同优化方法对参数进行优化,寻求降低维修成本的满意设计参数,考虑到整个分析、优化过程忽略了市场竞争、工业部门技术水平等相关因素,就存在的风险进行了评估;提出了贝叶斯网络风险评估算法,通过软件编程实现维修成本分析优化风险的评估。孙伟分析了民用飞机确定维修任务的一般方法,讨论了这些方法的原理和运用这些方法的基本步骤,对整个民用飞机结构维修任务的分析和制定方法进行了比较深入的研究,为制定经济合理的飞机结构维修大纲提供了切实可行的方法。莫庆华对几种主要的直接使用成本估算模型进行了对比研究,发展了在民用飞机经济性估算中使用的开放性系统框架和计算方法,实现了三种直接使用成本计算模型的计算以及与重量、性能、总体设计方案相连接,设计了多方案民用飞机使用经济性计算软件。陈勇建立了民用飞机维修成本数据库,针对民用飞机研发与设计阶段的维修成本主要是直接维修成本的确定、分配与预计工作开展研究,提出了直接维修成本分析流程和工作程序,并给出了整机直接维修成本计算方法、系统直接维修成本分配与预计方法;针对民用飞机使用阶段的维修成本主要是机体维修成本的评估提出了基于航空公司维修方案的机体定检维修事件成本预测方法和基于灰色理论的年度机体维修成本预测方法。