



大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

大型客机设计制造与使用 经济性研究

Proceedings on Aviation Economics in Civil Aircraft Design,
Manufacture, Operation and Maintenance

陈迎春 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

V27
3



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



00841779
南阳理工学院

大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

大型客机设计制造与使用 经济性研究

Proceedings on Aviation Economics in Civil
Aircraft Design, Manufacture, Operation and Maintenance

陈迎春 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本文集内容涉及飞机设计、制造、使用与维护、市场销售等环节中的经济性问题以及环保性与经济性的关系。经济性是反映民用飞机竞争力的重要指标之一,贯穿民用飞机全寿命周期的所有环节。目前我国正大力发展民用飞机产业,在开展技术攻关的同时,开展有关经济性的研究和应用工作对于发展航空经济学这一新的交叉学科具有重要的意义。本书可供从事相关工作的技术和管理人员使用,也可供决策人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大型客机设计制造与使用经济性研究/陈迎春主编.

—上海:上海交通大学出版社,2011

(大飞机出版工程)

ISBN 978-7-313-07333-4

I. ①大… II. ①陈… III. ①大型—旅客机—研究
IV. ①V271.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 090544 号

大型客机设计制造与使用经济性研究

陈迎春 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 10.75 字数: 207 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-07333-4/V 定价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:0512-52219025

丛书编委会

总主编：

顾诵芬（中国航空工业集团公司科技委副主任、两院院士）

副总主编：

金壮龙（中国商用飞机有限责任公司副董事长、总经理）

马德秀（上海交通大学党委书记、教授）

编委：（按姓氏笔画排序）

王礼恒（中国航天科技集团公司科技委主任、院士）

王宗光（上海交通大学原党委书记、教授）

刘洪（上海交通大学航空航天学院教授）

许金泉（上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院工程力学系主任、教授）

杨育中（中国航空工业集团公司原副总经理、研究员）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员）

汪海（上海交通大学航空航天学院副院长、研究员）

沈元康（国家民航总局原副局长、研究员）

陈刚（上海交通大学副校长、教授）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员）

林忠钦（上海交通大学副校长、教授）

金兴明（上海市经济与信息化委副主任、研究员）

金德琨（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

崔德刚（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授）

傅山（上海交通大学航空航天学院研究员）

目 录

基于环保因素的民机概念设计和经济性优化

吴慧欣 陈迎春 1

商用飞机全寿命成本分析方法

叶叶沛 李晓勇 11

含复合材料的飞机机体成本估算方法探讨

尹海莲 余雄庆 梁文萍 26

大型客机客户服务项目成本动因研究

冯振朋 王 瑶 甘 欢 36

欧盟民航碳排放收费及我国的应对

冯振朋 童明波 王 瑶 44

民用飞机经济性评价方法研究

孙 宏 景崇毅 张培文 53

先进金属材料机翼制造成本建模方法综述

赵 曼 宋文滨 60

性能约束下的大型客机经济性优化方法

杜吉旺 党铁红 许亚敏 李栋成 68

优化算法在民用飞机经济性优化中的应用研究

王振华 宋文滨 杜吉旺 刘 洪 76

天空开放政策对航空运输业的影响

陈晓和 纪建强 84

中国大飞机产业技术提升策略研究

——基于古诺竞争模型的分析

陈晓和 安家康 91

C919 大型客机国内市场销售策略初探

孟锐征 贾 佳 107

基于环保因素的民机概念 设计和经济性优化

吴慧欣¹ 陈迎春²

(1. 上海交通大学 航空航天学院, 上海 200240)

(2. 中国商用飞机有限公司, 上海 200232)

摘要: 为了使设计的飞机更具有市场竞争力,大型客机的研制必须在设计阶段就明确安全、经济、舒适和环保的总体设计思想。而今,航空旅行对环境的影响日益受到公众的重视,这对航空领域的相关技术起到了极大的推动作用。飞机对环境的影响主要体现在噪声和污染气体排放两方面。本文在飞机概念设计阶段引入环保性和经济性的分析,研究飞机环保特性的估算方法,找到为满足环保要求而带来的对飞机概念设计的影响,并将这种影响反馈到设计参数当中。同时,以飞机环保特性参数和经济性成本为目标,通过改变设计方案,利用优化技术对民用飞机的概念设计进行优化,获取环保性和经济性最优的设计方案。

关键词: 噪声; 排放; 经济性; 概念设计; 多目标优化

Civil Aircraft Conceptual Design and DOC Optimization with Environmental Performance

Wu Huixin¹ Chen Yingchun²

(1. School of Aeronautics & Astronautics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240)

(2. Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200232)

Abstract: In order to increase the market competitiveness of the designed aircraft, the research of civil aircraft should be based on the design philosophy of safety, economy, comfort and environment in the design phase. Currently, the public is becoming increasingly concerned about the environmental effect resulting from aviation, and it has improved the related technologies dramatically. The primary influences on environment from the aircraft are noise and the emission of polluted gas. This paper introduces the design and analysis of environmental and economic factors in the concept design phase, and focuses on the research of evaluation method of the environmental characteristics of the aircraft, and the influences of the concept design of the aircraft to satisfy environmental requirements, and feeds back the effects into design parameters. Furthermore, concept design of the civil aircraft is optimized with environmental factors as objective functions, and the optimized environmental and economic parameters are

presented along with economic cost and the modified design parameters.

Key words: Noise; Emission; Direct Operating Cost; Conceptual Design; Multi-objective Optimization

随着航空旅行的不断增加,飞机对环境的影响逐渐成为公众关注的焦点。国内外政府和机场分别对飞机提出了更高的环保要求,使得飞机设计和制造部门面临的压力越来越大。现今,各国均已开始在航空环保的研究上投入大量的资源,希望能够找到有效的环保方法,减少航空污染。

2007年12月,欧洲发起了“Clean Sky”项目,该项目旨在加快技术创新发展和新方案的市场测试,同时,加速新型、绿色的飞机设计,这对环境保护有非常大的贡献^[1]。2009年10月,美国国家航空和航天管理局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)正式启动环境可信赖航空(Environmentally Responsible Aviation, ERA)项目,这是NASA航空研究部门新的综合系统研究项目(ISRP)中启动的首个项目。其关注点与美国联邦航空管理局(FAA)正在开展的持续更低能量、排放与噪声(CLEEN)技术研究项目相吻合,通过开发和记录飞行器概念和技术的可行性、优点和技术风险,并将这些应用在减少航空对环境的影响方面,主要改进燃油效率、降低噪声水平和减少污染排放^[2]。

我国大型客机的研制过程中,对环保性能的关注还停留在设计之后的评估改进阶段,为了在国际市场上更具有竞争力,必须在设计阶段明确安全、经济、舒适和环保的总体设计思想的重要性。这里关注的飞机对环境的影响主要体现在噪声和排放方面。

1 飞机噪声

在飞机概念设计阶段,噪声的预测十分重要,它直接影响飞机的整体性能和经济性,同时,它也是评价满足国际适航标准的重要指标^[3]。

飞机噪声是飞机飞行时存在的各种声源的声辐射总和。主要分为两类:推进系统噪声和机体噪声。机体噪声是由于气流流过飞机表面引起的气流压力扰动产生的,其本质是空气动力噪声,它起因于气体内部的脉动质量源(单极子噪声源)、作用力的空间梯度(偶极子噪声源)以及应力张量的变化(四极子噪声源)^[3, 4]。

Heller 和 Dobrzynski 的论文证明了一种适用于包括起落架在内所有机身部件的噪声估算。模型中噪声强度 I 参考 Curle 的公式^[5]:

$$I \propto \frac{\rho v^6 l^2}{c^3 R^2}$$

其中: l 是部件的特征长度, v 是相对于空气的部件的速度, R 是观测半径, ρ 为空气密度, c 为声速。

NASA 的飞机噪声预测工程 (ANOPP) 用于计算起飞和机场的飞机噪声^[4, 6]。ANOPP 是一个结合公开可用的噪声预测计划的方法, 并且不断在更新。其中计算起落架的方法包括两种, 一种是 Fink 的方法, 一种是 Sen 方法, 后来被 Guo 改进发展, 称为 Guo 的方法。ANOPP 使用的实验的预测方法基于几个基本的参数: 平均流速、轮胎数、轮胎直径和起落架支柱长度。但高精度模型的认证和未来发展因没有飞行和风洞测试结果而受到阻碍^[7]。这里我们主要运用 Guo 的方法对飞机起落架噪声进行预测。

Guo 方法主要依据气动噪声形成的相似法则, 根据产生噪声的频率不同将噪声源分为三类: 低频噪声源(轮胎)、中频噪声源(支柱)和低频噪声源(起落架其他细节部件)。在噪声估算的过程中, 用到更多的设计参数^[8]。

根据声压叠加原理, 可以将起落架噪声的声压分为不同频率噪声产生的声压平方之和。这里, 将起落架噪声分为三类: 低频、中频和高频。

$$\langle p^2 \rangle = \frac{(\rho_0 c_0^2)^2 Ma^6 e^{-\alpha R} D(\theta)}{R^2 (1 - Ma \cos \theta)^4} \{p_L + p_M + p_H\}$$

式中, p 为声压; Ma 为马赫数; θ 为辐射角; $D(\theta)$ 是方向系数; p_L 为低频部件声压; p_M 是中频部件声压; p_H 为高频部件声压。其中, 方向系数 $D(\theta)$ 表征安装效应对起落架噪声的影响, 它不仅适用于表征起落架, 还适用于表征机翼、机身或其他部件的安装效应。参数 α 是一个关于频率的函数, 表示单位长度中大气吸收对噪声的影响, 一般计算时可以假设为无损失传播。 p_L 、 p_M 、 p_H 可以通过如下公式计算:

$$p = \beta S D(\theta) F(Sr)$$

式中, Sr 为斯特劳哈尔参数; F 为噪声辐射的规范频谱; 参数 β 表征噪声的辐射效率; S 表示特征面积。

对于低频噪声源(轮胎), 估算它产生的噪声时, S_L 的计算如下:

$$S_L = \pi N_w w d$$

式中, S_L 为低频部件面积; w 为部件宽度; d 为部件直径; N_w 为轮胎个数。这里不考虑轮胎侧面积, 因为它平行于远场气流速度, 故产生的噪声很小, 可以忽略不计。对于斯特劳哈尔数(研究流体绕流的一个重要参数), 低频噪声源可以通过如下公式计算:

$$Sr_L = fd/v$$

式中, f 为频率; d 为部件直径; v 为速度。

对于中频噪声源(支柱), 因为支柱主要由柱体(圆柱体或非圆截面柱体)组成, 所以其表面积可以表示为

$$S_M = \sum_{j=1}^N s_j L_j$$

式中, S_M 为中频部件面积; L_j 为某段部件长度; N 为段数; s_j 表示某段截面周长, 为

$$s_j = \begin{cases} \pi d_j & \text{对于圆柱截面} \\ 2(a_j + b_j) & \text{对于非圆柱截面} \end{cases}$$

式中, d_j 为某部件截面直径; a_j 、 b_j 分别为某部件截面平均长宽。

起落架支柱总长度

$$L = \sum_{j=1}^N L_j$$

因此, 平均截面尺寸 a 可以表示为

$$a = S_M / (\pi L)$$

这样, 中频噪声源的斯特劳哈尔数

$$Sr_M = fa/v$$

对于高频噪声源部件(刹车系统、液压系统、导线、切口等细节部件), 由于这些部件形状和尺寸都不规则, 因此不能像计算其他频率的噪声一样使用固定参数的计算模型。它取决于起落架不同部件的复杂程度及其相互位置的影响。这里引入无量纲参数 η , 表征起落架小部件的几何复杂度。它与轮胎数、支柱长度、起飞总重、轮胎迹线角有关。

$$\eta = \left\{ 1 + 0.028 \left(\frac{N_w}{N_{ref}} \frac{L}{L_{ref}} \frac{W}{W_{ref}} - 1 \right) \right\} \left\{ 1 + 2 \frac{N_w - 2}{N_w} \sin(2\gamma) \right\}$$

式中, 无量纲参数 η ; 表征起落架小部件的几何复杂度; W 为起飞总重量; W_{ref} 为参考起飞总重量。

方向系数 $D(\theta)$ 是一个关于辐射角 θ 的函数, 根据实验数据分析, 它与频率也存在依赖关系, 随着频率增大而增大, h 是实验参数。 $D(\theta)$ 可表示为

$$D(\theta) = (1 + h \cos^2 \theta)^2$$

噪声辐射的规范频谱 $F(Sr)$ 通常为

$$F(Sr) = A \frac{Sr^\sigma}{(B + Sr^\mu)^q}$$

其中, σ 、 μ 、 q 为实验参数, 决定频谱形状; A 、 B 由实验参数和极值点的斯特劳哈尔数计算得到。而斯特劳哈尔数与部件的特征长度和频率有关。其中, 假设 Sr_0 表示 $F(Sr)$ 取极值时的 Sr 值, 则有

$$A = (\mu q / \sigma)^q S r_0^{q\mu - \sigma}$$

$$B = \{(\mu q / \sigma) - 1\} S r_0^\mu$$

本文中的实验数据均为参考文献[8]中提供的数据,这里以 B737-800 为参考机型,估算其起落架在飞机进场阶段的噪声情况,计算结果如图 1 和图 2 所示。

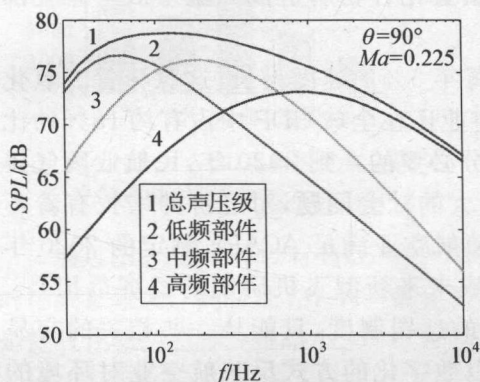


图 1 B737 主起落架各部件噪声频谱

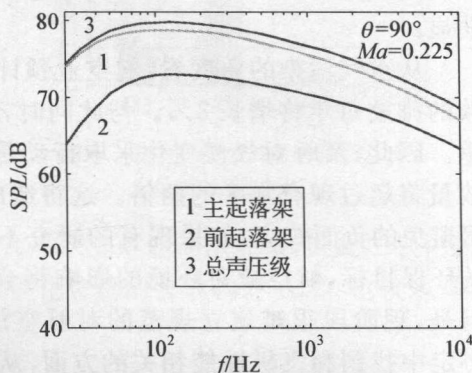


图 2 B737 前起落架和主起落架总噪声频谱

通过结果可以看到 B737-800 起落架在进场时的噪声情况,其前起落架比主起落架噪声低,而在主起落架中,低频部件对噪声的影响最大。

2 发动机排放

欧盟研究表明,航空器通常是在 8~13 km 的巡航高度运行,在这一高度,因燃油燃烧排放的气体 and 颗粒可以改变大气的构成,导致气候变化。飞机用的燃料是航空煤油,它所排放的尾气主要包括二氧化碳、氮氧化物、水蒸气、碳氢化合物、一氧化碳、硫氧化物和碳的微小颗粒。这些气体对环境的主要影响是导致大气的温室效应,进而影响全球气候的变化^[9]。

二氧化碳:根据航空燃料的分子构成,单位质量的航空燃料燃烧后将产生大约 3.15 单位的二氧化碳。1992 年飞机所排放出的二氧化碳大约为 5.14 亿吨,这相当于当年全部矿物燃料所产生二氧化碳总量的 2.4%,或者为当年人类产生二氧化碳的 2%。到 2050 年,航空业每年产生的二氧化碳总量将会达到 14.68 亿 t,占人类所产生二氧化碳总量的 3%。二氧化碳是产生温室效应的主要气体。

氮氧化物:氮氧化物是燃烧产生的副产品,主要包括 NO、NO₂ 和 N₂O 等。NO 为无色无味的气体,它与血红蛋白的结合能力比 CO 还强,更容易造成人体缺氧。NO₂ 为棕色气体,可在人呼吸时到达肺的深部,引起呼吸系统疾病。此外,NO 还能

形成酸雨,对环境构成危害。

水蒸气:飞机所产生的水蒸气会形成冷却颗粒的尾迹和高空云团,这些尾迹和云团像温室气体一样,能部分地阻止地面反射的太阳能向太空辐射,从而导致温室效应。如果燃烧时还有硫酸盐和炭黑生成,那么水蒸气的阻止辐射效应还会进一步增强。

碳氮化合物:碳氢化合物比二氧化碳更能导致温室效应。特别是飞机一般都在对流层上部或平流层内飞行,它所排出的碳氢化合物所造成的温室效应就更加明显。

从空气污染的角度看,航空业预计以每年 5% 的速度增长,这意味着二氧化碳的排放每年将增长 3%。与此同时,航空业还在全球 GDP 中占有约 18% 的比重。因此,及时对气候变化采取行动是十分必要的。到 2020 年,民航业废气排放量将超过现有水平的两倍。这将造成极大的社会问题,对经济的增长有着不可避免的负面效应,如果现有的研究不能使航空业满足 ACARE 制定的 2020 年的环保目标,航空业对环境的影响将会造成未来新型飞机研制的经济负担^[10]。但是,现阶段很难建立规范的对航空污染的惩罚制度,只能从一些相关的交易协定中找到和飞机性能相关的方面,从而以数字化的方式反映航空业对环境的污染^[11]。

一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物在航空飞行中排放量较少,但是对大气的污染非常严重,依据 ICAO 发布的发动机排放测试数据,根据不同飞行阶段飞机燃油消耗量可以计算得到污染气体的排放量。

本文的计算方法是根据飞机不同的飞行状态分别计算每一阶段污染气体的排放情况。具体计算公式为^[12]

$$TE_p = \sum_j SE_{j,p} \cdot FC_j$$

式中, TE_p 为排放物 p 在飞行阶段的总排放量,单位 g ; $SE_{j,p}$ 为飞行阶段 j 过程中排放物 p 的排放系数,单位 g/kg ; FC_j 为飞行阶段 j 过程中燃油消耗量,单位 kg ; j 为飞机起飞、爬升、巡航、进场、滑行五个阶段; p 为污染物,分别为一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物。

排放系数参考 ICAO 发布的发动机测试数据。这里值得一提的是,二氧化碳的排放只与燃油消耗有关,在巡航状态下,氮氧化物的排放系数随着巡航高度的变化而改变,而 HC、CO 的排放系数保持不变。文献[12]中提出,氮氧化物的排放系数与巡航高度成二阶线性关系。参考文献[12]中的数据,可以计算出氮氧化物巡航阶段的排放系数。图 3 为 B737-800 和 A320-200 两款机型发动机排放结果的对比分析。

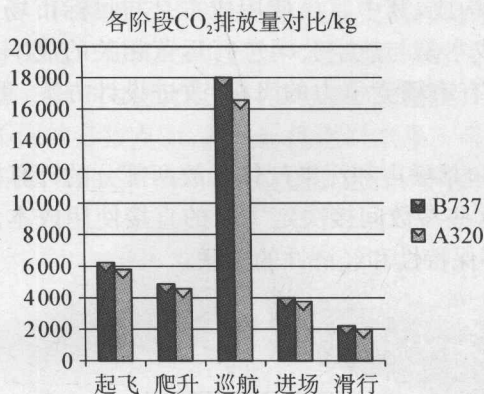


图3 B737与A320各阶段二氧化碳排放量对比

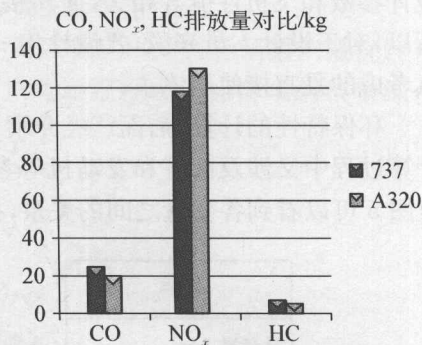


图4 B737与A320的CO、NO_x、HC排放量对比

通过图3、图4可以看到，B737-800比A320-200燃油消耗多，因此二氧化碳的排放量较大。同时，B737的一氧化氮和碳氢化合物的排放相对A320也较多，但是氮氧化物的总排放量略小。

3 环保对经济性的影响

评估环境损害(费用)与效益经济价值的方法被称为环境经济评价方法。常用的评价方法主要有直接市场评价法和间接设计估算法^[13]。

3.1 直接市场评价法

从经济损失的角度来计算飞机飞行对环境的损害，可以从以下三点来考虑：噪声、当地空气污染、温室效应^[11]。

(1) 噪声的经济损害是针对产生的感应噪声级大于57 dB的情况而制定的。据统计，连续的噪声每增加1 dB，就会使周围的房价降低0.5%~1%，在房价高涨的城市，这个损失会更加严重。影响感应噪声的飞行过程主要在飞机起飞、进场和滑行阶段，这里可以将噪声污染损失折算为平均每乘客消耗价值。

(2) 当地空气污染主要受到排放的氮氧化物的影响，计算原则主要取决于当地医疗服务在呼吸疾病增长的经济成本。

(3) 对全球变暖的影响主要体现在二氧化碳的排放量，在高空的二氧化碳对大气的影 响是地面的2.7倍。而二氧化碳的排放情况又与飞行中燃油的消耗，发动机的燃烧率密切相关。根据统计的经验值，平均每消耗1 t燃油，将产生3.15 t二氧化碳。而每消耗1 t碳的环保成本约为88美元，所以根据二氧化碳中的碳含量，可以计算出飞机飞行对温室效应的环保成本。

3.2 基于设计参数的计算方法

民用飞机的经济性一般通过直接使用成本来反映。民用飞机的使用成本由直

接使用成本(DOC)和间接使用成本(IOC)构成,其中直接使用成本是与目标市场、设计参数和飞机性能等相关,而间接使用成本是与航空公司进行运营相关的成本。所以,对于设计人员来说,要设计出一个具有市场竞争力的飞机,改进设计方案,重点考虑的是直接使用成本。

环保特性的计算,前面已经介绍过了,包括噪声和污染气体排放两部分的计算。计算过程中又涉及部件和发动机等参数,这些参数间接决定飞机的直接使用成本。由图 5 可以看到各变量之间的关系,找到环保特性和经济性的关联。

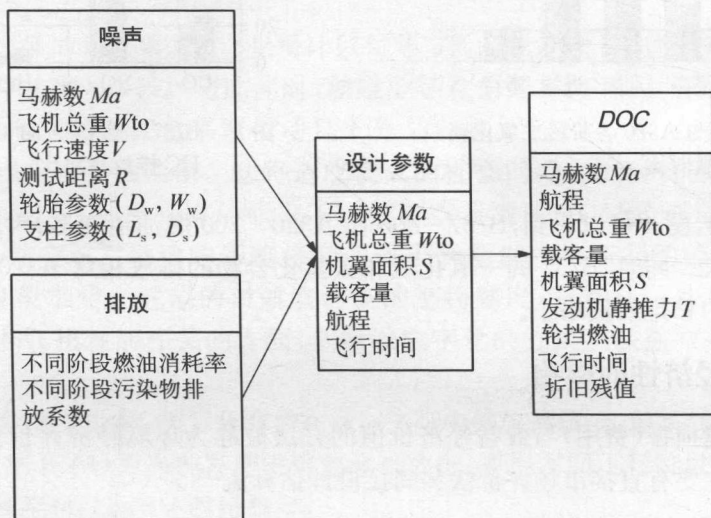


图 5 变量关系图

4 多目标优化

实际的工程优化问题大多数是多目标优化问题,目标之间一般都是互相冲突的。多目标优化很早就得到了人们的重视,到目前已经发展了较多的求解多目标优化的方法。遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种以随机理论为基础的模仿生物进化的搜索方法。近年来,遗传算法主要应用在复杂优化问题求解和工业工程领域应用方面,并取得了一些令人信服的结果,引起关注,航空工业作为需要优化问题较多的领域,对遗传算法的应用也越来越频繁。多目标遗传算法是最近几年发展起来的一种求解多目标优化非劣解集的有效方法,主要有以下一些:分级(Rank)遗传算法、两分支竞赛(Two-Branch Tournament)遗传算法以及作者提出的简单劣解惩罚算法。多目标的非劣解集算法实际上是一个逼近的过程^[14]。

本文采用遗传算法进行多目标优化,以起落架总噪声、氮氧化物排放总量和飞机运营成本为共同目标,选取 5 个设计变量,分别是机翼参考面积、根梢比、展弦比、四分之一弦长后掠角、全机最大静推力。在优化的过程中,涉及了飞机的重量估算和气动力估算,最终将设计变量映射到目标函数中。

采用波音 B737-800 型号飞机作为基准机型,进行大型民机的经济性环保性设计优化。在优化的过程中,假设翼型的气动力参数不会发生变化。

图 6 为优化过程计算点的二维显示,从图中可以看到不同目标函数的最优解在不同的参数点上,多目标优化的结果不唯一,用户可以根据各目标需求的权重综合考虑飞机的环保和经济性能,选择不同的设计方案。

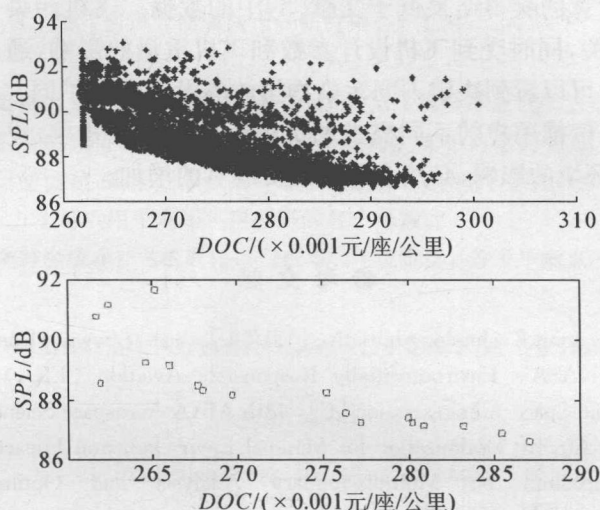


图 6 多目标优化最优点

表 1 多目标优化结果

	变化范围	B737-800	噪声最优方案	排放最优方案	DOC 最优方案
目标函数					
起落架总噪声/dB		91.53	86.58	89.85	90.45
NO _x 排放总量/kg		117.97	100.28	98.16	100.62
DOC/(元/座/公里)		0.2928	0.2960	0.2734	0.2628
优化变量					
机翼参考面积/m ²	105~150	124.6	149.85	131.66	129.01
展弦比	9~12	9.44	9.059	11.89	11.958
1/4 弦长后掠角/(°)	23.33~33.33	25	24.24	23.9	33.2
梢根比	0.22~0.26	0.278	0.256	0.249	0.249
静推力/kN	210~238	214	222.12	222.04	236.2
航程/km	—	2000	2000	2000	2000

5 结论

飞机概念设计阶段,可以引入环保性和经济性设计,通过估算给出定量分析,以初步验证飞机是否符合适航标准和市场竞争。本文对起落架噪声的估算结果与文献[8]中的数据趋势是一致的,这里采用进场参数计算,测试距离大于文献中风洞的测试距离,因此计算的噪声结果低于文献[8]中的数据。飞机污染气体排放与发动机的选择密切相关,同时受到飞机设计参数和飞机重量的影响,通过 B737 和 A320 两款机型的对比,可以看到决定不同污染物排放的设计参数不同。对于飞机环保性和经济性的权衡,依据用户的不同需求和市场行业的标准要求,优化选择不同。总体上减少飞机对环境的影响,必然会导致经济成本的增加。

参考文献

- [1] The Clean Sky Joint Technology Initiative [EB/OL]. <http://www.cleansky.eu>.
- [2] Overview of NASA's Environmentally Responsible Aviation (ERA) Project: National Aeronautics and Space Administration [C]. 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2010.
- [3] Antoine N E. Aircraft Optimization for Minimal Environmental Impact [C]. 9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization. Atlanta, Georgia, 2002.
- [4] Kafyeke F. Corporate Social Responsibility and Green Aircraft Technology: the Bombardier Perspective [J]. University of Toronto Institute for Aerospace Studies, 2008.
- [5] Smith M G and Chow L C. Prediction Method for Aerodynamic Noise from Aircraft Landing Gear [J]. AIAA J, 1998.
- [6] Fink M R. Noise Component Method for Airframe Noise. United Technologies Research Center, East Hartford [J]. AIAA J. 16(10). 1979.
- [7] Burley C L, Brooks T F, and Humphreys W M J. ANOPP Landing Gear Noise Prediction Comparisons to Model-Scale Data [C]. Confederation of European Aerospace Societies Paper 2007 - 3459.
- [8] Guo Y. A Semi-Empirical Model for Aircraft Landing Gear Noise Prediction [C]. 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. Cambridge, 2006.
- [9] Filippone A. Analysis of Carbon-Dioxide Emissions from Transport Aircraft [J]. AIAA J. 2008,45(1):587.
- [10] Antoine N E, Kroo. I M. Optimizing Aircraft and Operations for Minimum Noise [J]. AIAA J. Los Angeles. 2002.
- [11] Mistry S, Smith H and Fielding J P. Commercial Aircraft Design for Reduced Noise and Environmental Impact [J].
- [12] Kudrna K. Methodologies for estimating emissions from air traffic [R]. Austria. 1997.
- [13] 杨尚文. 机场航空噪声影响评价及控制研究[D]. 中国民航大学, 2008.
- [14] Goldberg D E. Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning [M]. New York: Addison-Wesley, 1989.

商用飞机全寿命成本分析方法

叶叶沛 李晓勇

(上海飞机设计研究院市场研究中心, 上海 200122)

摘要: 本文介绍商用飞机全寿命成本分析方法, 包括飞机全寿命成本的基本概念, 分析目的, 分析模型, 飞机定价和飞机盈亏平衡点分析等。文中对全寿命成本模型中涉及的主要元素的计算方法、影响因素以及针对单通道旅客机的典型取值进行了比较全面的分析, 该分析方法可以用于商用飞机研制的各个阶段。

关键词: 飞机全寿命成本; 飞机直接运行成本; 飞机定价; 盈亏平衡点

Commercial Aircraft Lifecycle Costing Method

Ye Yepai Li Xiaoyong

(Marketing Research Center, Shanghai

Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200122)

Abstract: The paper introduces an analysis method of commercial aircraft lifecycle costing method, including the basic concept of aircraft lifecycle cost, the purposes of using the lifecycle cost concept, lifecycle costing methods, aircraft pricing and break-even point analysis. The analysis methods for the various components of aircraft lifecycle cost models are given, along with typical results for single-aisle passenger aircraft. The methods introduced in the paper will benefit the whole development process of civil aircraft project.

Key Words: Aircraft Life Cycle Cost; Direct Operating Costs; Aircraft Pricing; Break-Even Point

全寿命成本概念, 最初是 20 世纪 60 年代美国军方为装备采购的目的提出来的, 它要求所采购的装备系统, 在使用性能满足军方要求的基础上, 从用户的观点出发, 使得装备系统从研发、制造、运行和支持, 到退役处置的全寿命周期内的总成本达到最低, 而不仅仅是低的采购成本。

对于军方采购装备系统来说, 军方既是装备系统研发的投资者, 也是装备系统的使用者, 必然要求装备系统的全寿命成本严格控制在经费总预算之内。对于商用飞机的开发商来说, 虽然飞机开发商是新机开发的投资者和决策者, 但是, 由于新机项目必须从市场和客户获得投资的回报, 因此, 客户不仅是飞机的使用者, 也是飞机

研发的“隐形”决策者,飞机全寿命成本最低也是客户追求的关键目标。

以全寿命成本最低为目标的设计理念,体现了“用户至上”的理念,因而在航空制造业的应用,受到越来越广泛的重视。汉莎航空公司的机队战略部门,要求在飞机研发的初期就参与飞机设计方案的决策,以期达到飞机全寿命成本最低的目标。

本文介绍了商用飞机全寿命成本分析方法,包括飞机全寿命成本的基本概念、分析目的、分析模型、飞机定价和盈亏平衡点分析。

1 飞机全寿命成本概念

根据美国国防部 2007 年颁发的“运行和支持成本估算指南”^[1],并结合商用飞机的特点,飞机全寿命成本定义为下述四项按顺序的、但互有重叠的成本之和:

1) 设计成本(非重复成本, Non-Recurring Cost)

非重复成本包括以下各阶段发生的成本:概念设计、初步设计和详细设计;机体结构和系统的试验和验证;适航验证和试飞;新工艺的开发;工装的设计和制造等。

2) 制造和采购成本(重复成本, Recurring Cost)

重复成本包括以下各阶段发生的成本:原材料、发动机和设备成品的采购;机体制造;飞机总装;产品质量控制和批生产试飞等。

3) 运行成本(Total Operating Cost)

运行成本包括运行期间的所有权成本(折旧、利息和保险)、现金成本(燃油、空勤、维修、起降和导航费等)和间接成本。

4) 处置成本(Disposal Cost)

处置成本指飞机进入处置阶段发生的成本。飞机可能转售或租赁给其他用户运营,或改装成货机,或被封存/解体。

2 飞机全寿命成本分析的目的

飞机全寿命成本分析可达到下述目的:

1) 设计优化

飞机的设计特性(设计方案、设计参数、发动机和系统的选择、新材料或新工艺的应用等)直接影响全寿命成本,因此,全寿命成本分析是一种设计优化和决策的有力工具。

2) 竞争分析

所研发的机型与同类竞争机型的全寿命成本分析和比较,可全面揭示出所研发的机型在经济性方面的竞争力。竞争分析既是设计决策的依据,也是客户购机选型的依据。

3) 销售策略研究

基于对设计、制造、运行和处置成本的全面分析,可以对飞机售价、盈亏平衡点和市场销售量作出评估,制定出制造商和航空公司“双赢”的销售策略。