



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

航空市场及运营管理研究系列

商用飞机经济性

Commercial Aircraft Economy

叶叶沛 编著



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

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 刘佩英
钱方针
责任编辑 蒋 敏
王 珍
封面设计 朱 懿



大飞机出版工程



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-16264-9



9 787313 162649 >

定价:88.00元



大飞机出版工程

航空市场及运营管理研究系列

总主编 顾诵芬

商用飞机经济性

Commercial Aircraft Economy

叶叶沛 编著



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

内容提要

今天的民用航空,已从以技术为主要导向转向了以市场化为主要导向的快速发展阶段,经济性成了发展的基本动力。本书阐述了在民用飞机研制、购置和运营中的飞机经济性问题,包括经济性在民用飞机发展中的推进作用、影响飞机经济性的因素讨论、飞机定价和研制成本分析方法、直接运行成本分析方法、运营经济性分析方法、飞机残值评估、飞机融/投资和资产管理等。

图书在版编目(CIP)数据

商用飞机经济性/叶叶沛编著. —上海:上海交通大学出版社,2017

ISBN 978-7-313-16264-9

I. ①商… II. ①叶… III. ①民用飞机—经济分析
IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308849 号

商用飞机经济性

编 著:叶叶沛

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:郑益慧

印 制:上海万卷印刷有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:307 千字

版 次:2017 年 1 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-16264-9/V

定 价:88.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:16

印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56928277

大飞机出版工程

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、中国科学院和中国工程院院士）

副总主编

金壮龙（中国商用飞机有限责任公司董事长）

马德秀（上海交通大学原党委书记、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、中国工程院院士）

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副院长、教授）

许金泉（上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授）

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（上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员）

沈元康（中国民用航空局原副局长、研究员）

陈刚（上海交通大学原副校长、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（上海交通大学常务副校长、中国工程院院士）

金兴明（上海市政府副秘书长、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（上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员）

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、比重大于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展和应用,体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索 and 不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008 年 5 月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教 1 时,亲自撰写了《飞机性能及算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理 50 多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也

包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》),由美国堪萨斯大学2008年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》)等国外最新科技的结晶;国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》《民用飞机气动设计》等专业细分的著作;也有《民机设计1000问》《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助,体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养,有益于航空工业的发展,有益于大飞机的成功研制。同时,希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空,并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009年12月15日

作者简介



叶叶沛,浙江江山人,研究员级高级工程师,1968年毕业于南京航空航天大学空气动力学专业。在西安飞机公司从事飞机总体气动设计工作30余年,2000年之后在中国商用飞机公司和上海飞机设计研究院从事民用飞机市场和经济性研究10余年。

前 言

从秦始皇于公元前 212 年命蒙恬将军堑山湮谷修建的长 736 km、最宽处约 60 m、今天我们还能依稀看到的“秦直道”(类似于现代的高速公路),从公元前 486 年始凿至公元 1293 年全线通航,全长 2 700 km,曾经输送“半天下之财赋”的中国大运河,人们感叹中国人对待交通问题的执着和智慧。

航空交通运输的发展,已成为现代文明的重要标志。比尔·盖茨说:“莱特兄弟创造了自书写发明以来唯一的最伟大文化力,飞机成为第一个互联网,它把人、语言、理念和价值联系在一起”。的确,虚拟的互联网,实现了全球亿万人的信息共享和高速传递。由遍布全球的航空网络构成的“实体互联网”,是现代全球社会和经济快速运行的血脉,山川湖海不再是阻隔交通的地理障碍,乘飞机在 24 h 内几乎可以到达地球的任何一个城市,人员、理念、科技、文化和货物的快速交流成为现实。今天的中国已成为全球第二的民航大国。从民航大国走向民航强国和民用航空制造强国,是中国航空人的中国梦。

民用航空业未来的发展趋势和方向,是实现中国人“民航强国和民用航空制造强国”之梦首先应该研究的课题。在 20 世纪 80 年代之前,民用航空业追求的目标是“更快、更大和更远”。1970 年服役的 B747 飞机,载客达到 524 人(两舱布局),航程可达 14 000 km,许多人在这款飞机上首次体验了跨洋旅行的快捷。英法合作研制的“协和”式超声速客机于 1969 年首飞,巡航 Ma 数达到 2.04,载客 90~120 名,从伦敦到纽约只消 3 个小时,它在航空技术上达到的成就曾令人赞叹不已。

然而,在 20 世纪 80 年代之后,航空业追求的主要目标不再是“更快、更大和更远”,而是转向了“更省油、更环保和更经济”。从投入市场不久的 B787 和 A350 飞机,到老机换发却受到客户青睐的 B737MAX 和 A320neo 飞机,我们可以清楚地看到这一趋势。民用航空业发展战略的这一重大转变,有其深刻的背景。1978 年美国率先开始推行“放宽航空管制”的政策,意在引入市场竞争、压

低运营成本、扩大乘客基础,使航空成为更多的人能够支付得起的大众化交通工具。此后,“天空开放”和低成本航空商业模式在全球风起云涌。全球经济的波动,日趋严峻的油价和环保压力,恐怖活动对旅客安全的挑战,地面交通(高速公路和高铁)的竞争冲击,种种市场和经济环境因素,都迫使民用航空业把经济性放到核心位置,以保证民用航空业繁荣和发展。

民用航空运输业和民用航空制造业是高度竞争的全球化产业。今天的民用航空运输业进入了大众化时代,飞机经济性已成为赢得市场和竞争的核心指标,民用飞机的研发,已从以技术为主要导向,转向以市场经济性为主要导向。从全面分析全球和中国的民用航空运输运营的市场环境出发,探求民用飞机从设计需求的制订、研发、制造、购置到运营等全寿命过程中降低成本和提升经济性的途径和方法,是航空运输业者和航空制造业者共同的努力目标,也是本书作者编写该书的出发点。

本人依据在民用飞机设计和市场经济性方面多年的工作经历,从飞机设计师的视角出发,编写了《商用飞机经济性》,期望为研究民用飞机经济性的爱好者和专业人士提供一份有实用价值的参考资料。在本书编写过程中,获得了上海飞机设计研究院市场研究中心许多经验丰富的同事们的悉心协助。在此,特别致谢杨洋、李晓勇、张康和王如华等对本书编写的奉献和支持。

对于书中存在的不足和纰漏,恳请读者批评指正。

编著者

2016年10月

目 录

- 1 概述 1
 - 1.1 航空运输在全球经济中的地位 1
 - 1.2 经济性在民用飞机发展中的推进作用 4
 - 1.3 民用飞机的研发过程和经济性评估的意义 8
 - 1.4 民用飞机的生命周期和经济性评估的意义 11
 - 1.5 本书民用飞机经济性的讨论范围 13
- 2 影响飞机经济性的因素 16
 - 2.1 影响飞机经济性的四类因素 16
 - 2.2 影响飞机经济性的市场因素 18
 - 2.3 影响飞机经济性的政策因素 30
 - 2.4 影响飞机经济性的机型因素 36
 - 2.5 影响飞机经济性的技术因素 41
- 3 飞机定价和研制成本 45
 - 3.1 飞机的成本、价值与价格 45
 - 3.2 飞机价格定义 46
 - 3.3 飞机定价方法 48
 - 3.4 飞机研制成本分析 54
- 4 飞机直接运行成本分析方法 73
 - 4.1 飞机直接运行成本分析的意义 73

4.2	飞机运行成本的分类	74
4.3	与运行成本分析有关的设计参数简述	77
4.4	飞机直接运行成本项目讨论	89
4.5	飞机直接运行成本计算分析方法	117
4.6	飞机直接运行成本分析的应用	128
5	飞机残值	156
5.1	前言	156
5.2	飞机价值定义和术语	157
5.3	影响飞机价值的因素	163
5.4	飞机残值预测	171
6	机队运营经济性	182
6.1	机队运营经济性分析的参数和定义	182
6.2	必须精打细算的航空运输业	185
6.3	机队运营成本	190
6.4	机队运营收益	194
6.5	机队运营利润	202
7	飞机融投资和资产管理	208
7.1	飞机融投资和所有权格局的演变	208
7.2	航空公司类型的影响	210
7.3	资金来源	211
7.4	飞机资产管理工具	215
7.5	航空公司投资评估方法简述	225
	索引	236

1 概 述

1.1 航空运输在全球经济中的地位

“愚公移山”的寓言,讲的是先民们为解决交通问题,不惜付出数代人的努力,去搬移门前的一座山。今天,山川湖海不再是阻隔交通的地理障碍,我们乘飞机在 24 h 内几乎可以到达地球的任何一个城市。人们感叹,我们居住的大星球变成了一个“地球村”。

1914 年 1 月 1 日,从美国佛罗里达州彼得斯堡起飞,跨海湾飞往坦帕市的飞艇定期旅客航班,开启了商用航空运输时代。据国际航空运输协会(IATA)统计,百年后的 2014 年,全球约有 1 400 家航空公司,在 50 000 条航线上运营 25 000 架飞机,每天执行 99 700 个航班,运送 860 万旅客。航空运输缩小了地区间的空间距离,使得人员、科技和文化的快速交流成为可能。航空运输把企业与全球市场联系在一起,使得世界各地都可以及时获得货物、药品、新鲜农产品、紧急援助等注重时效的产品与服务。从表 1-1 可大致看出百年来全球航空业的发展足迹。

表 1-1 百年来航空运输业:旅客数和主要里程碑事件*

年份	旅客/人次	主要里程碑事件
1914	1 205	首次商用航班飞行
1919	6 549	首家航空公司(荷兰皇家航空)运营(现仍在运营)
1921	13 559	在伦敦克里登机场首次雇用空管人员
1930	290 000	首次出现空乘人员
1934	652 000	首次开通跨大西洋邮政服务(汉莎)
1939	2 000 000	首个开通跨大西洋的定期航班(泛美)
1944	5 500 000	芝加哥公约(现代全球航空的基础)签署
1952	39 500 000	首架商用喷气客机服役
1970	383 000 000	首架 B747 在泛美航空公司投入营运
1971	411 000 000	首个低成本航空(美西南)进入市场

(续表)

年份	旅客/人次	主要里程碑事件
1976	576 000 000	协和式超声速客机服役
1978	679 000 000	美国放宽航空管制
1981	752 000 000	首个常旅客计划启动
1998	1 471 000 000	首次跨极地航班飞行(国泰航空)
2007	2 422 000 000	首架 A380 在新加坡投入营运
2011	2 824 000 000	首次生物燃油旅客航班飞行(KLM 和汉莎)

* 资料来源: IATA。

今天的航空运输业,处于现代全球化经济的核心位置。虚拟的“互联网”,实现了全球亿万人的信息共享和高速传递,极大地促进了全球经济和科技的发展。全球航线所构成的航空网络,堪称“实体的互联网”,实现了人员、货物、文化和科技在国际和地区间的快速交流,通达快捷的现代航空运输服务已成为全球经济的血脉。航空运输业对全球经济的贡献远不止是航空运输业自身,下述数据有助于说明航空运输业对全球经济的间接和带动作用(主要数据来源于 IATA《2014 年度综述》):

- 航空运输业: 2014 年,全球航空运输业安全运送 33 亿人次旅客和 5 000 万吨货物,提供 5 800 万个工作岗位,创造 24 000 亿美元的经济价值,约占全球 GDP 的 3.4%。

- 航空制造业: 航空制造业是少数发达国家的重要产业。例如,2010 年美国航空航天产业就业人数 47.7 万,产值 1 710 亿美元,其中民用飞机及部件产值占一半;航空航天产业的出口产值 780 亿美元,其中民用飞机、发动机、设备及部件出口产值 670 亿美元。航空制造业也向其他国家扩散。例如,65 家以上的日本公司参与波音项目,提供了 2.2 万份直接和间接工作(占日本宇航业就业人数的 40%以上),35% 的 B787 机体和 20% 的 B777 机体由日本生产。当 A350 XWB 飞机达到全负荷生产时,预计将在全球提供 3.4 万份直接工作和 6.8 万份间接工作。

- 机场等基础建设: 航空运输业承担大部分机场等基础建设的成本。2012 年,全球机场投资达 193 亿美元,提供了大量工作机会。

- 货物运输: 全球贸易价值的 35% 是由航空运输承担的,每年航空运输承担 6.4 万亿美元的货物运输。例如,依赖于航空运输的肯尼亚切花产业,占肯尼亚经济总量的 1.6%,为肯尼亚提供了 9 万份工作,每年创造 10 亿美元的外汇收入。现代生活的许多方面得益于航空货运,例如,航空货运使得制药业快速提供时间敏感型药品(尤其是疫苗)成为可能;大多数个人电子产品(手机和笔记本电脑等)是通过航空货运构成的供应链进行制造、装配和分销的;阿里巴巴和亚马逊等电商,依赖于航空货运建立起商品供应商与千家万户之间的快递服务。

● **旅游业**：52%的国际旅客乘飞机出行，旅游业已成为许多发展中国家的支柱产业。全球旅游业提供了 1.01 亿个工作岗位，对 GDP 的贡献达 2 万亿美元。在非洲，乘飞机到达的海外访客直接支撑起 250 万份工作。

● **海外就业**：航空运输业加速了劳动力的流动性。据联合国统计，有 2.3 亿人居住在出生地之外的国家。世界银行 2012 年估计，来自新兴经济体的劳动力汇回家的钱达 4 010 亿美元。

● **海外就读**：航空运输业促成了海外就读的热潮。美国商务部数据表明，2012—2013 年度，在美国就读的国际学生超过 80 万，2013 年对美国的经济贡献达 240 亿美元，为美国人提供了 30 万份工作。

● **带动作用**：航空运输的突出优势在于远程旅行时的省时而准时。如同信息互联网那样，实体的航空运输网络，加速了人员、货物、文化和科技在国际和地区间交流，刺激了国际贸易和投资，增进了企业的规模化和竞争力。据牛津经济研究院估计，航空业投入 100 万美元的研发费用，对社会产生每年 70 万美元的 GDP 增值贡献。

在中国，航空运输业发展迅速。2004—2014 年的 10 年间，航空旅客周转量年均增长率为 13.5%，在整个运输体系中的份额由 11% 提升到 21%（见图 1-1）。2013 年有 3.9 亿人次乘坐飞机出行（人均 0.29 次），航空已成为大众化的交通工具。



图 1-1 2014 年中国各种运输方式旅客周转量比例

1.2 经济性在民用飞机发展中的推进作用

空中交通只有提供了不低于其他交通方式的安全性,其运行成本不断降低,使得越来越多的人支付得起机票或运费,航线网络分布广泛而便捷,才能得到快速发展。飞机成为可替代地面和水面交通的、安全舒适、快速便捷、网络化和大众化的交通工具,是近三四十年的事。迄今为止的民用飞机发展史,经历了时间上有所重叠的3个阶段:梦想阶段,以技术创新为主导的发展阶段和以市场经济性为主导的市场化阶段。航空技术的日臻成熟是航空运输业走向大众化和市场化的基础,在市场化阶段,经济性必将成为推动民用飞机发展的主导因素。

1) 梦想阶段

人类对飞行的探索,起源于久远的梦想。希腊神话中,伊卡洛斯借助蜡和羽毛制作的翼翅逃离囚禁,但因过分飞近太阳,蜡和羽毛制作的翼翅受热融化,坠海而亡。阿拉伯人关于“飞毯”的远古童话,至今还是一些卡通片和电影的主题。



图 1-2 嫦娥奔月的神话

在中国,从嫦娥奔月的神话传说(见图 1-2),到隋唐时期敦煌莫高窟仕女飞天的壁画,这些对飞天的憧憬,充满中国式的智慧和浪漫色彩。中国明代人万户,是人类第一个尝试用火箭(即古时的爆竹,其原理与今天的火箭相同)飞天的人,这一壮举虽然失败,但其大胆而天才的技术构思使他名留青史。2 300 多年前中国伟大的浪漫主义诗人屈原在著名诗歌《九歌·云中君》中唱道:

龙驾兮帝服,聊翱游兮周章;
灵皇皇兮既降,焱远举兮云中;
览冀州兮有余,横四海兮焉穷。

翻译成现代语言是这样的:“云中君”乘坐的“龙驾”披着灿烂的天帝服饰,能轻松地遨游四方;它着陆时光彩夺目,起飞时迅捷滑跑升空;遍览九州有余,横跨四海无限。屈原梦想的“龙驾”,不正是今天的飞机吗?

2) 以技术创新为主导的发展阶段

在这一阶段,人类实现了飞天的梦想,飞机在军事上得到广泛应用,并逐渐成为人们出行可依赖的交通工具。

虽然达·芬奇这位意大利文艺复兴时期的天才,在 1510 年就设计出了飞行器的草图(见图 1-3),但是,在经过将近 400 年后,人类飞行的梦想才变成现实。1903