



Evolution of the Airliner

民用客机发展演变

(英) 雷·惠特福德 (Ray Whitford) 著

唐长红 等译

航空工业出版社

民机市场丛书

民用客机发展演变

(英) 雷·惠特福德 (Ray Whitford) 著

唐长红 等译

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

第一次世界大战后不久,第一架客机飞上云霄,商业航空迅速发展。本书用独一无二的观点,深入剖析了民用客机的发展历史、每个技术的突破和改进、未来的发展趋势等。本书适合所有对民用客机机型、设计以及飞行和航空工业历史感兴趣的读者。

图书在版编目(CIP)数据

民用客机发展演变/(英)惠特福德著;唐长红等译. --北京:航空工业出版社,2010.7

ISBN 978-7-80243-581-0

I. ①民… II. ①惠…②唐… III. ①民用飞机—技术史—世界 IV. ①V271-091

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第137471号

First Published in Great Britain in 2007 as

Evolution of the Airliner

by: The Crowood Press Ltd, The Stable Block, Crowood Lane, Ramsbury, Marlborough, Wiltshire, SN8 2HR

Copyright: © Ray Whitford, 2007

此书经北京版权代理有限公司代理,由 The Crowood Press Ltd 授权。

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2009-1284号

民用客机发展演变

Minyong Keji Fazhan Yanbian

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话:010-64815615 010-64978486

北京凯达印务有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2010年7月第1版

2010年7月第1次印刷

开本:710×1000 1/16

印张:25

字数:502千字

印数:1—3000

定价:66.00元

出版说明

民机市场是全球垄断程度最高的市场之一，数十年来，美欧两大航空巨头波音公司和空中客车公司牢牢地控制着世界 100 座级以上民机的生产与销售，100 座级以下的支线民机市场也逐渐落入巴西航空工业公司和加拿大庞巴迪宇航两家新兴的支线飞机制造商手中。他们凭借先进的民机制造技术和高超的营销策略，获得了丰厚的垄断利润。俄罗斯、中国、日本等国近年来也纷纷推出自己的民用飞机项目，试图在未来民机市场中分一杯羹。然而，后来者除了要在研发、制造等技术领域独辟蹊径或追赶超越外，了解和掌握民机市场商业化运作手段也是获得商业成功的关键因素之一。

发展大型民用飞机及其相关产业，建设实力雄厚、服务一流、一体化的航空工业产业链是我国航空业界的夙愿。从 20 世纪 70 年代的运 10 起，到 MPC-75、AE-100，我国在民用飞机技术追赶的征途上取得了不小的成就，然而对民机市场商业化运作规律却知之甚少，对民航用户和市场需求的关注也不够。时代在变化，发展民机产业需要我们不断进行知识的更新和准备，尤其需要加强对民航运输及民机市场的充分认识和了解，形成先进的、完整的、成体系的民机产业发展的市场化理念。“新舟”60、ARJ21 新型支线飞机和大型客机的相继上马，以及不断积累的民机市场知识将有助我国的民机产业走向成功。

航空工业出版社策划的这套“民机市场丛书”，试图从产业链的角度打造体系完备的民机市场知识库，包括介绍航空航天产业市场营销理论与实践的图书《航空航天市场营销管理》、介绍航空公司飞机选型与规划理论的图书《大飞机选购策略——航空公司机队规划》、介绍民用客机发展演变历史的图书《民用客机发展演变》、介绍航空运输经济与营销的图书《迷航——航空运输经济与营销》，以及介绍民机市场理论的图书《民机市场手册》等。

我们相信，本套丛书的出版对于配合我国民机产业的市场化改革与发展，乃至对于我国整体航空产业的发展都具有一定的实用价值。

民机市场丛书编辑部

2009 年初

序

1914~1918年间，飞机由一种有效的制胜武器发展成为可以长距离实施作战的装备。在某些从中受到启发的热心人士看来，既然飞机能够携带炸弹，那飞机就有承运旅客的可能。第一次世界大战结束的时候，几个幻想家开始关注商用航空的可能性。他们的努力显得犹豫不决，多半是由于他们需要从现有的武器装备范围内想象未来的商用飞机。

一直到20世纪20年代中期，随着世界经济形势的好转，才有了明确的客机设计概念。虽然如此，民机市场还是依赖于政府对航空邮政运输机的需求。正如本书中叙述的那样，在20世纪20年代后期至30年代早期，当设计师终于抓住时机在技术上取得了综合性突破时，客机营运才迎来了重大转机。木制的双翼飞机被改造成流线型的单翼机，从而能够与通宵奔驰的火车运输进行竞争。

客机在商业上的成功是美国人在1930年前后取得的，而不是欧洲人，虽然那时候欧洲的飞机制造业是最发达的。不过，尽管有莱特兄弟的开拓性工作，美国当时的航空工业能力还是不如欧洲，也正因为此刺激了美国人的创新精神。此外，美国的民用航空业当时已经取得了相当程度的发展，形成了一个巨大的大陆性市场。在1927~1937年间，美国的民用飞机销售额几乎占到世界的一半。还有一个重要的因素也许是1918年以后参加工作的许多飞机设计师没有军用飞机或者双翼飞机的研制经历。不管什么原因，美国在20世纪30年代初期所制造的客机已经综合了现代客机的所有特征：铝合金下单翼、收放式起落架、襟翼、带有整流罩的变距螺旋桨发动机。一少部分人为客机的关键性发展提供了思想或者灵感，尽管他们的热忱未必有直接的价值，但确实促进了客机技术的进步。

又过了20多年后，客机变得更大、更快、更有威力，气密式座舱使得客机可以飞得更高，然而本质上，那时的客机仍然与道格拉斯飞机公司生产的DC-3相似。在第二次世界大战到来之前，各强国把更多的资源集中于军用飞机的研制，从而使军用飞机获得了快速的发展。第二次世界大战同时也大大促进了喷气式发动机技术的根本性创新。1945年，英国空军和德国空军使用了喷气式飞机，德国促成了后掠翼技术的具体化。之后的10年，民用飞机制造业通过采用第二次世界大战期间的研制成果，提高了航空旅行速度。

旅客的运输成本在以下4个不同时期里都得到了降低。20世纪30年代，民用客机彻底改革成金属单翼机，领先于同期的军用飞机；20世纪50年代，随着活塞式发动机的发展，增压舱式客机变得更大，客机座位数翻倍增加；20世纪50年代后期，第一种喷气式客机问世，客机座位数进一步翻倍；20世纪70年代初期，安装高涵道比涡轮风扇发动机的宽体客机座位数高达450个。从20世纪30年代到70年代，商用飞机技术的发展不是一个持续、稳定的过程，而是一个跳越式的发展过程。而近年来，飞机技术发展则逐渐成为改良式的，而非革命式的发展。即使现代客机的飞行速度可以达到超声速，但总体仍旧与20世纪50年代一样。当然，现在的机上电子娱乐系统已经把一般旅客的厌倦感降到最低，头等舱也为旅客布置了卧床，甚至1000座的客机也不再是幻想。

随着人们越来越强调客机的安全性、经济性和可靠性，双发客机的航程几乎不受限制，民机工业经历了大规模的产业整合过程，现在只剩下两个主要的飞机制造公司和3个主要的发动机公司。由于燃料费用越来越高，同时为了降低对环境的影响，未来的客机将不可避免地要满足更低的座英里成本^①需求。

^① 国内习惯用座公里（座千米）成本表达。

前言

本书中，雷·惠特福德详尽分析了推动民用客机发展的动力和技术革新。

第一次世界大战后，人们试图开展航空运输，但遇到许多困难。原因很简单，就是该行业的成本高、收益低。周期性发生的燃料费用上涨和经济停滞等消极因素，是航空运输产业需要面对的难题。20世纪30年代，为了获得更多的利润，客机必须要更加经济地完成飞行，这个经济性要求推动了客机技术的巨大发展。随着空气动力学的发展，飞机由双翼机发展到单翼机；同时随着发动机设计技术的进步，发动机的推力不断增加，出现了双发客机；金属蒙皮应力结构也取得了重大突破，出现了可以使飞机在复杂气象条件下安全飞行的增压座舱。在这些技术的综合推动下，美国的航空工业和航空运输业都获得了迅猛的发展。

第二次世界大战之后，出现了涡轮喷气式发动机，从此客机可以飞得更高、更快，飞行效率和航程都有了巨大的提高，巡航高度提高了15000ft^①，巡航速度更增加了200mile^②/h。尽管人们以前没有认识到金属疲劳问题的严重性，但当该问题突显后，研究人员经过孜孜不倦的调查研究和对新型材料的分析、应用，最终还是解决了这一难题。金属疲劳失事的灾难发生在第一架喷气式客机——德·哈维兰德公司的“彗星”飞机上，但这并没有使波音公司失去研发新型飞机的信心，波音公司发挥自己研发后掠翼喷气式轰炸机方面的经验，向市场投放了波音707客机，其很快就成为航空运输业“不可或缺”的重要装备。20世纪50年代后期，客机载客量增加了50%，使用成本进一步降低。从那以后，美国飞机制造商引领世界客机发展的格局已定。

① 1ft = 0.3048m。

② 1mile = 1.61km。

1969 年，美国飞机制造商成功研制出波音 747 客机，该机以高涵道比涡轮风扇发动机为动力，载客量猛增。20 世纪 80 年代之后，欧洲的空中客车集团公司（简称空客公司）逐步壮大，打破了航空公司对美国飞机制造商的依赖格局。

民用客机的发展是一个进化演变的过程，它总是采用军用飞机已经验证的技术。但是，超声速飞行却是例外，为了确保“协和”号飞机低速时安全飞行，该机采用了具有重大突破意义的流场分离控制技术。此外，“协和”号飞机还比同一时期的军用飞机更早地采用了电传操纵飞行控制系统。目前看来，超声速客机的前景并不乐观，但这并不意味着航空运输产业成了夕阳产业。波音 787 客机正在研制之中，空客公司正在考虑 A320 的替换机种，并且已经把 A380 客机投入航线使用。除了这些以外，飞翼客机的研制也在继续进行，其经济性有很大提高，但其速度仍然处在 20 世纪 50 年代后期的水平，而速度是航空运输的主要优势。

译 校 人 员

唐长红	郭圣洪	许云峰	徐云浪
张兴国	秦五诗	方永浩	王 玲
朱 璐	顾国忠		



第 1 章 航空公司的成长和经济情况

1.1 最早的商业运营	(1)
1.2 英国帝国航空公司	(2)
1.3 美国的商业运营	(4)
1.4 航空邮政的重要地位	(5)
1.5 早期的飞机	(5)
1.6 20 世纪 30 年代的航空运输业	(7)
1.7 国际竞争	(11)
1.8 现代客机的起步	(12)
1.9 为何美国处于领先地位	(15)
1.10 欧洲民用航空的发展	(16)
1.11 美国与欧洲设计思想的比较	(18)
1.12 20 世纪 30 年代后期的航空运输业	(20)
1.13 战后的英国	(21)
1.14 布拉巴宗委员会	(22)
1.15 第二次世界大战后的美国	(23)
1.16 20 世纪 50 年代初期的客机发展状况	(23)

1.17	燃气涡轮发动机投入使用	(26)
1.18	美国关于喷气式运输机的思考	(28)
1.19	美国人勉强接受喷气式飞机	(30)
1.20	道格拉斯飞机公司的反应	(30)
1.21	大型喷气式飞机投入使用	(32)
1.22	维克斯公司的 V.1000 和 VC10	(33)
1.23	大型喷气式客机	(34)
1.24	宽体喷气式客机	(37)
1.25	双发宽体客机与空客公司的成立	(40)

第2章 经济性分析

2.1	飞机生产率	(42)
2.2	飞机利用率	(44)
2.3	客座率	(44)
2.4	票价	(46)
2.5	使用成本	(47)
2.6	直接使用成本	(48)
2.7	间接使用成本	(53)
2.8	技术进步对成本的影响	(54)
2.9	成本激增	(54)
2.10	制造商在启动新型飞机研制时的困难	(56)
2.11	启动费用	(59)
2.12	融资和租赁	(60)

2.13 飞机的选择	(62)
------------------	--------

第3章 空气动力学

3.1 翼型	(64)
3.2 欧洲和美国空气动力学的发展	(65)
3.3 英国空气动力学的发展	(66)
3.4 诱导阻力	(67)
3.5 增升装置	(69)
3.6 空气动力流线型	(72)
3.7 发动机冷却阻力	(76)
3.8 埋头铆钉	(77)
3.9 机翼/机身气动力干扰	(78)
3.10 层流	(79)
3.11 细节之困难	(82)
3.12 压缩性	(82)
3.13 阻力增加	(83)
3.14 后掠角	(84)
3.15 后掠翼的优点	(86)
3.16 后掠翼的缺点	(87)
3.17 翼型	(91)
3.18 喷气式运输机的布局	(92)
3.19 机翼总体设计	(94)
3.20 机翼之外的阻力	(96)

3.21	空气动力学设计工具	(100)
3.22	超临界翼型	(101)
3.23	配平阻力	(105)
3.24	抖振边界	(106)
3.25	翼根处理	(107)
3.26	机翼/机身整流带	(107)
3.27	其他整流罩和整流带	(109)
3.28	翼梢小翼	(109)
3.29	用涡流发生器控制气流	(113)
3.30	良好的空气动力外形	(116)
3.31	术语	(117)

第4章 稳定性与操纵性

4.1	理论与实践	(120)
4.2	构型	(121)
4.3	风洞试验	(122)
4.4	稳定性准则	(124)
4.5	飞行品质	(127)
4.6	飞行品质规范	(129)
4.7	飞行控制	(131)
4.8	动力辅助操纵	(133)
4.9	人工感觉系统	(134)
4.10	全助力操纵系统	(135)

4.11	压缩性	(136)
4.12	机翼/机身干扰	(136)
4.13	机翼后掠角增强了侧滑引起的滚转	(137)
4.14	荷兰滚	(138)
4.15	偏航和滚转阻尼器	(138)
4.16	机翼后掠有促进翼尖失速趋势	(139)
4.17	后掠角和展弦比的综合影响	(142)
4.18	失速问题	(143)
4.19	严重失速/深失速	(145)
4.20	气动弹性效应	(147)
4.21	扰流板	(148)
4.22	指令控制系统	(151)
4.23	主动控制技术	(152)
4.24	电传操纵系统	(152)
4.25	术语	(156)

第5章 发动机

5.1	英国发动机的发展	(158)
5.2	阿姆斯特朗-西德利公司的“美洲虎”发动机	(159)
5.3	布里斯托尔公司的“木星”发动机	(160)
5.4	美国气冷式发动机的起源	(163)
5.5	普·惠公司的设立	(164)
5.6	齿轮变速螺旋桨	(164)

5.7	变距螺旋桨	(165)
5.8	20 世纪 20 年代的美国航空运输业	(168)
5.9	增压	(169)
5.10	水冷式发动机的衰落	(170)
5.11	可维修性和可靠性	(170)
5.12	发动机的台数	(172)
5.13	更大功率的发动机	(173)
5.14	多排配置气缸的发动机	(173)
5.15	爆震和燃油抗爆性	(176)
5.16	涡轮螺旋桨发动机	(179)
5.17	螺旋桨效率	(182)
5.18	飞机的航程	(182)
5.19	涡轮喷气式发动机的效率	(183)
5.20	燃油消耗	(185)
5.21	对喷气式运输机的怀疑	(185)
5.22	航空公司的观点	(186)
5.23	美国的喷气式运输机	(187)
5.24	发动机吊舱的好处	(189)
5.25	发动机的位置	(190)
5.26	后机身安装发动机	(194)
5.27	噪声问题	(198)
5.28	反推力装置	(200)
5.29	压气机的类型	(202)
5.30	非设计点的工作情况	(204)

5.31	多轴发动机	(205)
5.32	燃烧室	(207)
5.33	燃烧室的类型	(208)
5.34	燃油	(208)
5.35	涡轮	(209)
5.36	提高涡轮进口温度	(209)
5.37	发动机材料	(210)
5.38	冷却	(213)
5.39	燃气涡轮发动机的构型	(215)
5.40	未来前景	(221)
5.41	燃油效率	(223)
5.42	发动机/机体一体化设计	(227)
5.43	发动机“视情维修”	(230)
5.44	使用中的磨损	(231)
5.45	可靠性	(232)
5.46	延程飞行	(234)
5.47	空中停车率	(236)
5.48	发动机的数量	(237)
5.49	起飞过程中发动机失效	(238)
5.50	巡航过程中发动机失效	(239)
5.51	发动机尺寸确定	(239)
5.52	结论	(240)
5.53	术语	(241)