

美国市场直接运营成本(DOC) 计算分析方法应用研究

Applied Study of DOC Analysis Model on US Market

张 康 叶叶沛 / Zhang Kang Ye Yepai

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

首先阐述了当前背景下研究美国市场民用飞机运营成本的目的和意义,进而分析了民用飞机运营经济性领域不同研究主体关注的侧重点差异;然后归纳总结了美国市场多种飞机直接运营成本的构成要素和计算方法;最后,通过算例进行比较分析,确定出一种符合现今美国市场情况的 DOC 计算方法用于型号初步设计和市场推广。

关键词:民机;美国市场;DOC;初步设计

[Abstract] Firstly describes the purpose of researching the civil aircraft's direct operating cost in the US market under the current situation, and then discuss about that various research units have different focus. Secondly, three DOC analysis models and composing elements of the US market are described. Finally, a DOC method, which meets US market conditions and can be used for aircraft preliminary design and sales, is confirmed by a sample applied with these models.

[Key words] Civil Aircraft; US Market; DOC; Preliminary Design

0 引言

分析飞机运营成本,对于航空公司运营管理、政府监控航空运输系统以及飞机制造商研制新飞机,都是至关重要的。

不同的航空市场,它们的经济发展环境、航空运输环境和航空公司经营模式是不相同的,因此,它们的飞机运营成本也是不同的。即使是同一个国家或地区的不同航空公司,由于其经营的市场不同(干线或支线市场),经营的模式不同(网络航空或低成本航空),飞机运营成本也是各不相同的。

中国民机进入美国航空市场,是中国民机制造商的重要市场目标之一。为此,本文对美国多种飞机运营成本分析方法进行了研究,并据此建立了适合于新研制商用客机在美国航空市场运营的经济性评估和竞争分析的飞机运营成本分析

模型。

1 美国飞机运营成本分析模型

美国航空运输协会(ATA)于1944年发表了首个获得广泛认可的飞机直接运行成本(DOC)估算方法。该方法历经多年发展更新后,于1967年ATA公布了估算涡轮动力飞机DOC的标准方法(详见文献1),被称为“ATA-67年”方法,该方法是后来DOC估算的重要基础。

航空公司和飞机制造商对于飞机运营成本分析的要求不同,因此,所采用的飞机运营成本分析模型也有所不同。航空公司偏重于整个机队的运营成本,关注机队的市场适应性、资源配置、资金运作和对各个成本项目的有效管理,以达到运营效益最大化的目的。飞机制造商偏重于其研制机型本身的经济性和竞争性。在本节给出的几种分析方法中,Harris运营成本分析方法(见文献2)属于航

空公司的运营成本分析方法,波音 1993 年运营成本分析方法(见文献 3)属于制造商的运营成本分析方法。

1.1 Harris 飞机运营成本分析模型

本节给出了 Franklin Harris 在 2005 年发表的《An Economic Model of U. S. Airline Operating Expense》(NASA CR-2005-213476)(见文献 2)中提供的飞机运营成本分析模型。该模型基于对美国 67 家航空公司 1999 年向美国运输部报告的运营数据的回归分析。

图 1 给出了 Harris 分析模型的成本构成。该模型中的直接运行成本项目(即“飞机运行成本”)包括:空勤、燃油和滑油、保险、租金、机体维修、发动机维修、折旧和分摊成本及其他飞行运营成本(包括:非工资性税、专业和技术服务费、兑换和其它成本)等。

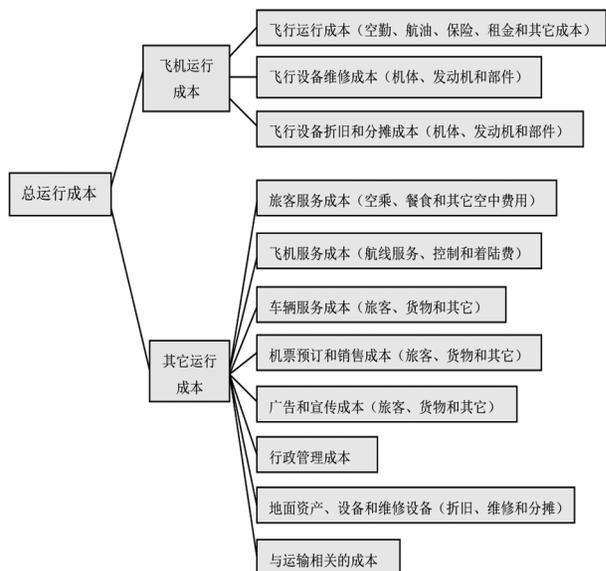


图 1 Harris 分析模型的成本构成

该模型中的间接运行成本项目(即“其它运行成本”)包括:旅客服务成本(包括:空乘成本,餐食费和其它空中费用)、着陆费、其他项目成本(航线服务和控制、车辆服务、机票预定和销售、广告和宣传、行政管理、地面设备维修和折旧、维修设备折旧等)、以及与运输有关的成本。

每个方程得到的值是整个机队(本文改为单架飞机)每年的费用(1999 年,美元),未计及通货膨胀等因素。

值得注意的是,文献 2 指出,1999 年美国运营的 7 600 架飞机中,航空公司拥有产权的是 3 630 架(48%),政府拥有产权的是 440 架(6%),经营租赁

飞机 3 220 架(42%),融资租赁飞机 310 架(4%),文献 2 的研究涉及其中的 67 家航空公司运行的 5 963 架飞机。在 Harris 分析模型中,考虑了租金成本和折旧成本,却没有贷款付息的成本项目。

一般来说,飞机所有权成本要考虑折旧、利息和保险三项成本;对于租赁飞机,要考虑租金和保险两项成本,没有折旧成本。因此,在建立特定飞机运行成本模型时,对于租金、折旧、利息和保险成本的计算不应直接应用 Harris 分析模型。

各成本项目的计算方法如下:

(1)空勤成本(Flight Crew Cost,简称 FCC)

$$FCC = AF \times K \times (MTOGW)^{0.4} \times BH \quad (1)$$

式中,

FCC 为空勤成本,单位:美元/年。1999 年,美国航空公司的平均空勤成本约为 640 美元/轮挡小时。

K 为航线因子。支线取 2.75;国内航线和两人机组取 5.25;大西洋/太平洋航线和三人机组取 6.50。

AF 为航空公司因子。与航空公司定位有关,传统航空公司要高于低成本航空公司。平均值取 0.80;低取 0.63;较低取 0.44;极低取 0.34。高取 1.00;较高取 1.30;极高取 1.60。例如,美西南航是 0.608,美利坚航空公司是 1.063。

$MTOGW$ 为最大起飞总重,单位:磅。

BH 为每年轮挡小时数。

(2)燃油和滑油成本(Fuel & Oil Cost,简称 FC)

$$FC = FP \times (BF_{N-C} + BF_C) \times DEP \quad (2)$$

式中,

FC 为燃油和滑油成本,单位:美元/年。滑油成本很低。1999 年,美西南航空公司的滑油成本占燃油成本的 0.43%。

FP 为燃油价格,单位:美元/加仑。1999 年的价格是 0.51 美元/加仑。

BF_{N-C} 为非巡航段耗油,单位:加仑/航段。

BF_C 为巡航段耗油,单位:加仑/航段。

DEP 为每年起降数。

(3)保险费(Insurance Cost,简称 IC)

$$IC = 0.0056 \times AP \quad (3)$$

式中,

IC 为年保险金,单位:美元/年。系数 0.0056 是 1999 年的值。

AP 为航空公司购机时的采购价,单位:美元。

(4) 租金 (Rental Cost, 简称 RC)

$$RC = 0.0835 \times AP \quad (4)$$

式中,

RC 为年租金 (假定是“干租”), 单位: 美元/年。系数 0.0835 是 1999 年的值。

AP 为租赁公司购机时的采购价, 单位: 美元。

(5) 其它飞行运营成本 (Other Flying Operation Cost, 简称 OFOC)

$$OFOC = 0.04 \times (FCC + FC + IC + RC) \quad (5)$$

OFOC 的单位是美元/年, 包括: 非工资性税、专业和技术服务费、兑换和其它成本。

(6) 维修成本 (Maintenance Cost, 简称 MC)

维修成本 MC 是机体维修成本 AMC 与发动机维修成本 EMC 之和。

a) 机体维修成本 AMC

$$AMC = K [(W_{REF})^{0.72118} (FH)^{0.46050} (DEP)^{0.32062} (NAC)^{0.20700} (1 + R_{in})^{-0.43177}] \quad (6)$$

R_{in} 是公司内维修比例。

b) 发动机维修成本 EMC

$$EMC = K [(T)^{0.89650} (N_E)^{0.92340} (FH)^{0.15344} (DEP)^{0.37535} (NAC)^{0.4429} (1 + R_{out})^{-0.34704}] \quad (7)$$

R_{out} 为公司外维修比例。

式中,

常数 K:

$$K = ST \times 1.73 \times (CF) (MF) (ET) \quad (8)$$

ST 为服务类型。客机取 1, 货机取 1.3252。

ET 为发动机类型。涡扇取 1, 涡桨取 1.2644。

MF 为飞机型别因子。最早期机型取 1 (例如 B737-1/2), 早期机型取 0.7104 (例如 B737-300), 近期机型取 0.514 (例如 B737-500), 较新机型取 0.4260 (例如 B737-800), 最新机型取 0.35 (例如 B777)。

CF 为航空公司成本因子。很低取 0.4470; 低取 0.8339; 平均取 1.0, 高取 1.3019。

W_{REF} 为参考重量, 单位: 磅。 W_{REF} 等于最小使用空重减去发动机干重。

FH 为机队全年的飞行小时数。

DEP 为机队飞机全年的起降次数。

NAC 为该年份机队的飞机数。当 NAC = 1, FH 和 DEP 仅对应于一架机时, 维修成本 MC 的计算结果就对应于一架机的全年维修成本。

T 为海平面标准大气条件下的动力装置推力, 单位: 磅。

N_E 为每架飞机的发动机数。

(7) 折旧成本 (Depreciation & Amortization Cost, 简称 DC)

$$DC = \frac{AP \times (1 - RV)}{DP} \quad (9)$$

式中,

AP 为飞机采购价格, 单位: 采购当年的美元。

RV 为残值 (Residual Value)。典型值是 15%。

DP 为折旧年限 (Depreciation Period), 典型值是 20 年。

折旧成本 DC 仅适用于航空公司拥有飞机产权的情况。

(8) 旅客服务成本 (Passenger Service Cost, 简称 PSC)

$$PSC = 1.6 \times 555.00 \times (N_{FA}) \quad (10)$$

式中,

PSC 为旅客服务成本, 单位: 美元/年。旅客服务成本包括: 空乘成本, 餐食费和其它空中费用。

常数 1.6: 旅客服务总成本正比于空乘成本, 是空乘成本的 1.6 倍。

常数 55500: 在 1999 年, 每个空乘的平均年成本是 55500 美元。空乘成本包括: 工资、途中费用、管理和培训费等。

N_{FA} 为空乘数。用式(11)计算:

$$N_{FA} = \frac{\text{轮挡小时/年}}{\text{空乘飞行小时/年}} \times \frac{\text{FAA 要求空乘数}}{\text{座位数}} \times \text{每架机座位数} \times \text{飞机架数} \times (1.3647 + 0.2351 \times \text{每次起落轮挡小时数}) \quad (11)$$

1999 年, 年轮挡小时数 3600 以上; 空乘年平均飞行小时数约为 1200。依据 FAR121.391 的要求, 每 50 名旅客至少要有 1 名空乘。 N_{FA} 表达式的最后一项考虑了假期、病假和上座率的影响。

(9) 着陆费 (Landing Fees, 简称 LF)

$$LF = 0.00147 \times (ST) (RF) (MLW) (DEP) \quad (12)$$

式中,

LF 为着陆费, 单位: 美元/年。

ST 为服务类型因子。客机取 1, 货机取 0.89。

RF 为航线因子。国内航线取 1.0; 大西洋航线取 2.36; 拉美航线取 1.64; 太平洋航线取 4.28。

MLW 为最大着陆重量, 单位: 磅。

DEP 为飞机全年起降次数。

(10) 其它间接成本 (Other Indirect Operating Costs, 简称 OIOC)

1.2 波音 1993 年飞机运营成本分析方法

波音 1993 年方法(见文献 3),考虑了美国国内干线、国际干线和低成本运营之间的差异(虽然当时低成本运营模式尚处于早期阶段),并把运营成本划分三类:与飞机有关的运行成本、与旅客有关的运行成本和与货物有关的运行成本,见表 1。

表 1 波音 1993 年方法的运行成本分类

与飞机相关	与旅客相关	与货物相关
所有权成本	餐食费	货物操作成本
燃油(含 APU 耗油)成本	订票和销售	预定和销售
空勤成本	其它空中服务	佣金
直接维修成本和维修管理费	佣金	广告宣传
地面操作成本	旅客操作成本	与货物有关的综合管理
地面设备折旧、维护和管理成本	行李操作成本	
空管和通信成本	广告宣传	
着陆费	与旅客有关的综合管理	
空乘成本		
与飞机有关的综合管理		

直接运行成本(DOC)定义为空勤、燃油、维修、保险、折旧和利息之和,并且采用 100% 载运率时的耗油。间接运行成本(IOC)采用给定装载条件下的耗油(例如国内航线上座率为 60%,国际航线上座率为 65%)。总运行成本(TOC)是耗油经载运率调整的 DOC 和 IOC 之和。

运行成本通常是基于平均航段距离计算得出的,单位为美元/航段、美元/可用座英里或美元/可用吨英里。

1.2.1 直接运行成本计算

(1)空勤成本(Flight Crew Cost,简称 FCC)

$$FCC = [(GWPAY + MILPAY)(1 + CF1 + CF2) \times BEN \times DF] \times SF + (TRN + PERSEXP + PRTAX) \times PF \quad (13)$$

式中,

FCC 为空勤成本(Flight Crew Cost),单位:美元/轮挡小时。

GWPAY 为总重酬金(Gross Weight Pay)。

MILPAY 为里程酬金(Mileage Pay)。MILPAY = 0.03 × 合同速度。单通道飞机的合同速度(英里/小时)是 540;双通道飞机的合同速度是 565。低成本

航空公司的 MILPAY 为 0。

CF1、CF2 为第一、第二副驾驶酬金(First and Second Officer Pay)因子,以机长酬金百分比表示。对于两人机组,CF2 = 0。

BEN 为津贴系数(Benefits Factor)。BEN 的值如下:低成本航空公司为 1.17;国内干线和货运为 1.22;国际干线和货运为 1.22。

DF 为负载系数(Duty Factor)。利用 DF 可把空勤酬金从“美元/付费小时”转换为“美元/轮挡小时”。

SF 为航段系数。

TRN 为培训费(Training Expenses),单位:美元/轮挡小时。

PERSEXP 为人事费(Personnel Expenses),单位:美元/轮挡小时。

PRTAX 为工资税(Payroll taxes),单位:美元/轮挡小时。

PF 为长航程附加空勤系数。

(2) 燃油成本(Fuel Costs,简称 FC)

飞机轮挡耗油基于图 2 给出的标准飞行任务和备份油剖面假设。

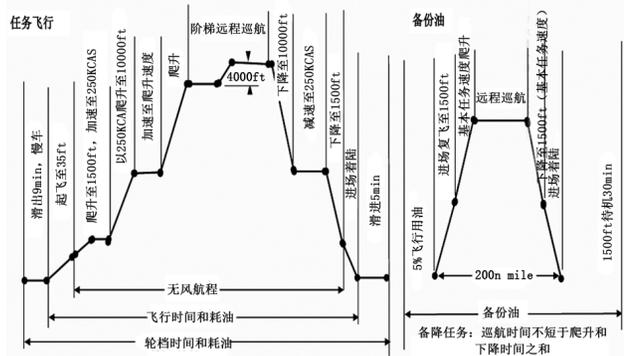


图 2 波音标准飞行任务和备份油剖面假设

波音方法规定,当计算直接运行成本(DOC)时,燃油成本总是基于满载条件下的轮挡耗油;对于旅客飞机,对应于满客(包括行李)但无货载状态;对于货运飞机,对应于最大可用商载(或体积限制或重量限制)状态。当计算总运行成本(TOC)时,轮挡耗油按实际机上载荷做相应调整。

如果飞机数据文件中未给出商载对燃油量的修正数据,则需要考虑不同商载引起的燃油修正量。

(3) 维修成本(Maintenance Cost,简称 MC)

主要影响因素包括直接维修劳务费率和维修管理费率。文献 3 未给出维修成本的计算方程或其它可用数据。

(4) 折旧成本(Depreciation Cost,简称 DC)

$$DC = TI \times (1 - RV) / (DP \times DEP) \quad (14)$$

式中,

DC 为折旧成本,单位:美元/航段。

TI 为投资总额,单位:美元。投资总额是机体价格、机体备件价格(假定为机体价格的 6%)、发动机价格、以及发动机备件价格(假定为发动机价格的 23%)之和。

RV 为残值(包括机体、发动机及备件)。假定为 10%。

DP 为折旧年限(包括机体、发动机及备件)。新机假定为 20 年。

(5) 利息成本(Interest Cost,简称 IC)

$$IC = (AI) / (DEP) \quad (15)$$

式中,

IC 为利息成本,单位:美元/航段。

AI 为年贷款付息(Annual interest),单位:美元。

(6) 保险(Hull Insurance Cost,简称 HIC)

$$HIC = IR \times AP / (DEP) \quad (16)$$

式中,

HIC 为保险金,单位:美元/航段。

IR 为年保险费率。对于美国国内干线的客机,假定为 0.35% 的飞机价格。

AP 为飞机价格,单位:美元。

1.2.2 间接运行成本计算

(1) 飞机地面操作成本(Aircraft Ground Handling Costs,简称 GHC)

$$GHC = (K1 + S \times K2 \times K3) \times K4 + \frac{0.016 \times BF}{6.75} \quad (17)$$

式中,

GHC 为地面操作成本,单位:美元/航段。客机地面操作成本包括:廊桥定位和拆卸,客舱,厨房、厕所和饮用水服务,航行日志检查,发动机起动,推拉飞机。加油费为 1.6 美分/加仑 \times 轮档耗油。停机坪旅客行李货物操作包含在旅客行李货物操作中。机外检查假定由空勤执行。

S 为可用座位数。

$K1 = 12 + 0.0325 \times (AFW) / 1000$ 。

AFW 为机体重量,单位为磅。 $K2$ 、 $K3$ 和 $K4$ 分别是总座位数、平均航段距离和航线类型的系数。

(2) 地面动力(APU 燃油)成本(Ground Power Costs,简称 GPC)

$$GPC = FP \times \left(\frac{LBS}{HR \times 6.75} \right) \times (1.464 \times e^{(-0.151 \times A)}) \times A \quad (18)$$

式中,

GPC 为地面动力(APU 燃油)成本,单位:美元/航段。

FP 为燃油价格,单位:美元/加仑。

LBS/HR 为 APU 小时耗油,单位:磅/小时。

$A = 0.35 + 0.00186 \times (DSW)$ 。

式中,

DSM 为飞机平均航段距离(英里)。

(3) 餐食费(Passenger Food Cost,简称 PFC)和客舱等级和航段距离有关。

(4) 其它间接运行成本

1.3 Liebeck 飞机运营成本分析模型

Robert Liebeck 在 1995 年发表的研究报告《Advanced Subsonic Airplane Design & Economic Studies》(NASA CR-195443)中采用的 DOC 估算方法(见文献 4),以“ATA-67 年”方法为基础,适用于飞机构型优化和竞争分析。其计算模型和假设条件是由当时的麦道公司、波音公司和 NASA 的 Lewis 研究中心等单位共同研究确定的,如表 2 所示。Liebeck 方法相对于“ATA-67 年”方法增加了利息成本项目,因此也称为“DOC+I”方法。

Anthony P Hays 在其 2009 年发表的著作《Aircraft and Airline Economics》(见文献 5)中引用了 Liebeck 方法,但由于 1993 年至 2009 年消费者价格指数(CPI)上升了 1.47 倍,因而在机体和发动机维修材料成本上考虑了系数 1.47。不过,自 1993 年以来航空劳务成本(涉及空勤、空乘和维修劳务成本)维持不变,因而计算模型保持不变。在下面的计算模型描述中考虑了文献 5 的修正。

Liebeck 方法把直接运行成本项目划分为以下两类。一类是“所有权成本”,包括折旧、利息和保险。另一类是“现金成本”,包括空勤成本、空乘成本、起降费、导航费、维修成本和航油成本。在其它美国直接运行成本分析中,空乘成本、起降费和导航费不包含在直接运行成本项目中。

各成本项目的计算方法如下。

(1) 空勤成本(Flight Crew Cost,简称 FCC)

对于国内航线运营:

$$FCC = 440 + 0.532 (MTOGW / 1000) \quad (19)$$

对于国际航线运营:

$$FCC = 482 + 0.590 (MTOGW / 1000) \quad (20)$$

式中,

FCC 为空勤成本(Flight Crew Cost),单位:美

元/轮挡小时;

$MTOGW$ 为最大起飞总重,单位:磅。

(2)空乘成本(Cabin Crew Cost,简称 CCC)

对于国内航线运营:

$$CCC = \left(\frac{S}{35}\right) \times 60 \quad (21)$$

表2 Liebeck 方法计算假设条件(1993年)

项目	内容
假设基础	短程 150 座机;按美国国内规则
	其它:按国际规则
设计航程/经济任务剖面(NM)	短程 150 座机;2 500/500
	中程 225 座机;4 500/3 000
	中程 275 座机;6 000/3 000
	远程 600 座机;7 500/4 000
利用率(航段/年)	短程 150 座机;2 100
	中程 225 座机;625
	中程 275 座机;625
	远程 600 座机;480
维修劳务费率(美元/小时)	25
维修管理费率	200%的直接维修劳务成本
空勤人数	2
空乘人数	短程 150 座机;1/35 座
	其它;1/30 座
着陆费	短程 150 座机:最大着陆重量的函数
	其它:最大起飞重量的函数
导航费	短程 150 座机;无
	其它:最大起飞重量的函数,前 500NM。
机身保险费率	0.35% 飞机价格
折旧年限	15 年
残值	10% 价格(包括备件)
备件投资:机体	6% 机体价格
备件投资:发动机	23% 发动机价格
贷款量	100% (飞机+备件)
贷款年限	15 年
贷款年息	8%

对于国际航线运营:

$$CCC = \left(\frac{S}{30}\right) \times 78 \quad (22)$$

式中,

CCC 为空乘成本,单位:美元/轮挡小时;

S 为可用座位数。

(3)着陆费(Landing Fee,简称 LF)

对于国内航线运营:

$$LF = 1.5 \times \left(\frac{MLW}{1\ 000}\right) \quad (23)$$

对于国际航线运营:

$$LF = 4.25 \times \left(\frac{MTOGW}{1\ 000}\right) \quad (24)$$

式中,

LF 为着陆费,单位:美元/航段。

$MTOGW$ 为最大起飞总重,单位:磅。

MLW 为最大着陆总重,单位:磅。

(4)导航费(Navigation Fee 简称 NF)

对于国内航线运营: $NF=0$ 。

对于国际航线运营:

$$NF = 0.136 \times 500 \times \left(\frac{MTOGW}{1\ 000}\right)^{0.5} \quad (25)$$

式中,

NF 为导航费,单位:美元/航段。

$MTOGW$ 为最大起飞总重,单位:磅。

(5)燃油费(Fuel Cost,简称 FC)

燃油成本为基于经济巡航条件下的轮挡耗油,燃油密度假定为 6.7 磅/美加仑(即 0.79kg/l)。

(6)维修成本(Maintenance Costs,简称 MC)

维修成本(MC)由机体和发动机的直接维修劳务成本、材料成本和管理成本构成。其中,机体的直接维修劳务成本和材料成本基于波音公司提出的参数方程,发动机的维修成本基于发动机制造商提供的数据。

飞机维修成本(MC)(单位:美元/航段)是下述 6 项之和。其中,前 3 项之和是机体维修成本,后 3 项之和是发动机维修成本。

a) 机体维修劳务成本(AMLC)

$$AML_{FH} = 1.26 + 0.136 \times 500 \times \left(\frac{MTOGW}{1\ 000}\right)^{0.5} \quad (26)$$

$$AML_{FH} = 1.26 + 1.774 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right)$$

$$- 0.1701 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right)^2 \quad (27)$$

$$AML_{FC} = 1.614 + 0.7227 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right) + 0.1024 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right)^2 \quad (28)$$

$$AML = AML_{FH} \times FH + AML_{FC} \quad (29)$$

$$AMLC = AML \times R \quad (30)$$

式中,

AML_{FH} 为与飞行小时有关的机体维修小时数,单位:维修小时数/飞行小时。

AFW 为机体重量,单位:磅。 AFW 等于制造空重(MEW)减去发动机干重。

AML_{FC} 为与飞行循环有关的机体维修小时数,单位:维修小时数/飞行循环。

AML 为机体维修劳务小时数,单位:维修劳务小时/航段。

FH 为每航段飞行小时数,单位:飞行小时/航段。通常地面机动时间是 15min,因而 FH 等于轮挡小时减去 0.25h。

R 为维修劳务费率,单位:美元/小时。Liebeck 方法中取 25 美元/小时。

$AMLC$ 为机体维修劳务成本,单位:美元/航段。

b) 机体维修材料成本(AMMC)

$$AMM_{FH} = \left[12.39 + 29.80 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right) + 0.1806 \left(\frac{AFW}{10^5}\right)^2 \right] F_{CPI} \quad (31)$$

$$AMM_{FC} = \left[15.20 + 97.33 \times \left(\frac{AFW}{10^5}\right) - 2.862 \left(\frac{AFW}{10^5}\right)^2 \right] F_{CPI} \quad (32)$$

$$AMMC = AMM_{FH} \times FH + AMM_{FC} \quad (33)$$

式中,

AMM_{FH} 为与飞行小时有关的机体维修材料成本,单位:美元/飞行小时。

AMM_{FC} 为与飞行循环有关的机体维修材料成本,单位:美元/飞行循环。

$AMMC$ 为机体维修材料成本,单位:美元/航段。

F_{CPI} 为消费者价格指数修正系数,对于 1993-2009 年, $F_{CPI} = 1.47$ 。

c) 机体维修管理成本(AMOC)

$$AMOC = 2.0 \times AMLC \quad (34)$$

d) 发动机维修劳务成本 EMLC

$$EML = \left[0.645 + \frac{0.05 \times SLST}{10^4} \right] \times \left(0.566 + \frac{0.434}{FH} \right) \times FH \times N_E \quad (35)$$

$$EMLC = EML \times R \quad (36)$$

式中,

EML 为每航段发动机维修小时数,单位:维修小时数/航段。

$SLST$ 为单台发动机未安装海平面静推力,单位:磅力。

NE 为每架飞机的发动机数。

$EMLC$ 为每航段发动机维修劳务成本,单位:美元/航段。

e) 发动机维修材料成本(EMMC)

$$EMMC = \left\{ \left[25 + \left(0.25 \frac{SLST}{10^4} \right) \right] \left[\left(0.62 + \frac{0.38}{FH} \right) FH \right] N_E \right\} F_{CPI} \quad (37)$$

式中,

$EMMC$ 为每航段发动机维修材料成本,单位:美元/航段。

f) 发动机维修管理成本(EMOC)

$$EMOC = 2.0 \times EMLC \quad (38)$$

(7) 折旧成本(Depreciation Cost,简称 DC)

$$DC = TI \times \frac{1 - RV}{DP \times DEP} \quad (39)$$

式中,

DC 为折旧成本,单位:美元/航段。

TI 为投资总额,单位:美元。投资总额是机体价格、机体备件价格(假定为机体价格的 6%)、发动机价格、以及发动机备件价格(假定为发动机价格的 23%)之和。

RV 为残值(包括机体、发动机及备件)。假定为 10%。

DP 为折旧年限(包括机体、发动机及备件)。假定为 15 年。

DEP 为每年起降数。假定:当运行平均航段为 500n mile 的国内短程航线时, $DEP = 2100$; 当运行平均航段为 3000n mile 的国际航线时, $DEP = 625$; 当运行平均航段为 4000n mile 的国际航线时, $DEP = 480$ 。

(8) 利息成本(Interest Cost,简称 IC)

$$IC = \frac{AI}{DEP} \quad (40)$$

式中,

IC 为利息成本,单位:美元/航段。

AI 为年贷款付息(Annual interest),单位:美元。用式(41)计算:

$$AI = TI \times F \times (PN) \left(\frac{IR}{PN} \right) \left[\frac{1}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{IR}{PN}\right)^{PN \times LP} - 1}} \right] \quad (41)$$

F 为贷款比例 (Financing)。假定 100% 投资总额利用长期贷款。

IR 为贷款年利率 (Annual interest rate)。假定为 8%。

LP 为还贷年限 (Loan period)。假定为 15 年。

PN 为每年还款次数 (Payments per year)。假定每年还贷 2 次。

(9) 保险 (Hull Insurance Cost, 简称 HIC)

$$HIC = IR \times \frac{AP}{DEP} \quad (42)$$

式中,

HIC 为保险金, 单位: 美元/航段。

IR 为年保险费率。假定为 0.35% 的飞机价格。

AP 为飞机价格, 单位: 美元。

2 三种飞机运营成本分析模型比较

以国外某单通道客机 (下文以“X-plane”代替) 为例, 对以上三种飞机运营成本分析模型进行比较和评估。比较和评估用的飞机运营条件和飞机技术数据见表 3。

表 4 比较了在 2010 年美国国内干线运营条件下三种方法的计算结果, 所比较的成本项目仅限于 Liebeck 方法计算的直接运营成本。基于航空公司运营数据回归分析的 Harris 方法, 其结果应该具有较高的可信度。Liebeck 方法和波音方法的计算结果, 与 Harris 方法的结果相比, 各个成本项目的吻合性都很好。因此, 我们认为, 经 CPI 修正的 Liebeck 方法可以选择为美国航空市场飞机 DOC 分析的基本方法。当需要考虑航空公司和机型对运营成本的影响时, 可以利用 Harris 方法和波音方法中有关数学模型进行修正。

3 美国航空市场飞机 DOC 分析假设条件和模型建议

依据上述分析, 建议采用经 CPI 修正的 Liebeck 方法和表 5 所列假设条件。图 3 给出了 X-plane 在 2010 年美国国内干线条件下 DOC 分析结果。

表 3 飞机运营条件和技术数据假设

项目	参数
平均航线距离, n mile	650
轮挡时间, h	1.82
轮挡燃油, kg	4 176
年总利用率, h	4 225
平均过站时间, h	0.5
年轮挡小时	3 316
年起落数	1 818
座位数	150
最大起飞总重, lb	162 040
最大着陆重量, lb	142 195
制造空重, lb	82 995
单台发动机干重, lb	5 250
单台发动机未安装海平面静推力, lb	27 000
每架飞机的发动机数	2
飞机售价, 万美元,	4 000
燃油价格, 美元/gal	2.05

表 4 三种方法计算结果比较
(2010 年美国国内干线运营条件)

成本项目 (美元/航段)	Liebeck 方法	波音方法	Harris 方法	比较
折旧	1 462.5	1 096.9	935.3	三种方法的计算模型相同 (Harris 方法缺利息计算), 但是折旧年限、贷款的年限和残值、贷款的利息等假设不同。
利息	1 194.2	1 819.4		
保险	77.0	77.0	67.5	
所有权成本	2 733.7	2 993.3		
燃油	2 903.6	2 796.0	2 903.6	燃油成本直接用轮挡耗油计算。结果稍不同仅由于燃油密度假设不同。
维修成本	848.3 (772.0)		779.6	Liebeck 方法括号内数据是未经 CPI 修正之前的数据, 此时 Liebeck 和 Harris 方法差异很小。
空勤	960.1	929.7	929.5	三种方法的计算模型各不相同, 但结果差异不大。
空乘	469.2	547.4	458.0	
着陆费	213.3	194.8	209.0	
导航	0.0	126.4		

(下转第 65 页)

由于转子碎片在飞出发动机的过程中会产生碰撞,不可避免的丧失部分能量,因此本文所用无限能量的假设是保守的,转子对于机体结构的损伤并不能达到本文所述的最严重情况,不足以表明结构存在危险。因此,对于民用飞机非包容性损坏下机体结构安全性评估技术有待进一步研究。

参考文献:

- [1]《飞机设计手册》总编委员会. 飞机设计手册 9, 载荷、强度和刚度, 2001.
- [2]《结构设计手册》. 中国航空工业总公司第 640 研究所, 1994.

(上接第 48 页)

表 5 DOC 计算假设条件建议

项目	内容
U_r 为飞机年利用率, 小时	4 225
TAT 为平均过站时间, 小时	0.5
U 为飞机有效年利用率, 小时	$U = U_r \times BH / (BH + TAT)$, (BH: 轮挡小时)
折旧年限	20 年
残值	10% 价格 (包括备件)
贷款	100% 总投资。总投资 = 飞机购置价 + 备件
备件投资: 机体	6% 机体价格
备件投资: 发动机	23% 发动机价格
贷款年限	20 年
贷款年息	8%
每年还贷次数	2 次
维修劳务费率 (美元/小时)	25
机身保险费率	0.35% 飞机价格

运行成本分析 (2010年美国国内干线运营条件)
平均航段距离: 650n mile

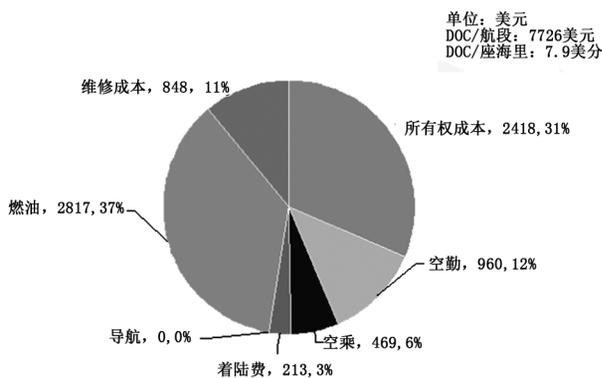


图 3 X-plane 飞机在 2010 年美国国内干线条件下 DOC 分析结果

4 结论

本报告根据公开的文献资料总结了三种美国市场直接运营成本 (DOC) 的计算方法, 经过对比计算分析后, 采用经 CPI 修正的 Liebeck 方法作为 C919 飞机美国市场 DOC 计算分析模型, 用于运营经济性研究和竞争分析工作。

当然, 本报告提供的方法还要在与美国航空公司用户的工作交流中进一步验证和完善, 并根据美国市场最新的变化情况及时就分析模型以及经验系数进行调整和修正。在今后的研究中还需要致力于:

(1) 考虑建立美国航空运输市场最新统计数据的稳定可靠来源, 并建立随时间变化, 能够反映现实情形和趋势的理论方法。

(2) 随着航空运输市场环境的变化, 对现有计算分析模型进行改进, 包括加入排放交易机制影响等。

参考文献:

- [1] Air Transport Association Of America. Standard Method Of Estimating Comparative Direct Operating Costs Of Turbine Powered Transport Airplanes[R]. 1967.
- [2] Harris Franklin. An Economic Model of U. S. Airline Operating Expense[R]. NASA CR-2005-213476, 2005.
- [3] Boeing. Boeing 1993 Operating Cost Methods[Z]. Boeing Commercial Airplane Group, 1993.
- [4] Liebeck R. H., et al. Advanced Subsonic Airplane Design & Economic Studies[R]. NASA CR-195443, 1995.
- [5] Anthony P Hays. Aircraft and Airline Economics[M]. 18. 7. Aircraft Design & Consulting, 2009:1-9.
- [6] 叶叶沛, 党铁红, 李晓勇. 喷气客机重量、性能和经济性综合评估方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(4):19-21.