

商用喷气式飞机 DMC 分析 模型应用研究

Applied Study of DMC Analysis Model for Commercial Jetliner

李晓勇 叶叶沛 李 晨 / Li Xiaoyong Ye Yepai Li Chen

(上海飞机设计研究院, 上海 200232)

(Shanghai Aircraft Design Research Institute, Shanghai 200232, China)

摘 要:

首先对影响民机维修成本的要素进行了讨论,并给出一些飞机维修成本数据。然后归纳总结了欧美多种飞机维修成本计算方法。最后,通过算例进行比较分析,确定出一种符合国内市场情况的 DMC 计算方法用于型号初步设计,工程实践表明该方法符合中国市场情况,并给出未来的研究方向。

关键词:民机;DMC;初步设计

[Abstract] The factors of Civil aircraft direct maintenance cost are discussed firstly, and then the maintenance cost data of some types of aircraft are showed. Secondly, DMC analysis models of Europe and US are described. Finally, a DMC method, which meets Chinese market conditions and can be used for aircraft preliminary design, is confirmed by a sample applied with these models. In the end, future study of DMC analysis model is indicated.

[Key words] Civil Aircraft;DMC;Preliminary Design

0 引言

飞机直接维修成本(Direct Maintenance Cost)是飞机直接运行成本(Direct Operating Cost)的组成部分。控制和降低飞机直接维修成本,是飞机设计的重要目标,也是航空公司关注的焦点之一。飞机直接维修成本,与机型、飞机机龄、航空公司经营模式、航空运输市场环境和当地经济环境等因素有关。

飞机直接维修成本分析方法,通常是利用航空公司在运营飞机中长期积累的飞机维修成本数据,进行统计回归分析后建立的。由于可有效利用的国内外飞机维修实际数据较少,因此利用欧美有关飞机维修成本分析方法,建立我国新研制商用飞机的维修成本分析方法,是切实可行的。

本文首先对影响飞机维修成本的要素(包括飞机维修体制、维修检查间隔和机龄对维修成本的影响等)进行了讨论,并给出一些飞机维修成本数据;然后对欧美的多种飞机维修成本计算方法进行了讨论和比较,并结合国内航空公司飞机运营数据,选择一种符合国内市场情况的 DMC 计算方法用于

型号初步设计;文末指出未来研究的方向。

1 影响飞机维修成本的要素

1.1 飞机维修体制及各类维修所需时间

飞机维修成本,与维修体制及各类维修所需时间有关。表 1 按照传统的“字母检”给出了各类维修检查的典型范围和需要时间。当采用以任务为导向的维修体制 MSG-3 时,可以把维修任务组成工作包,使得维修与运行要求更为匹配。

1.2 维修检查间隔

维修间隔是影响维修成本的重要因素,其与飞机的运行任务条件有关。表 2 给出了 12 种机型的典型维修检查间隔。维修间隔是依据飞行小时、飞行循环或日历月来确定的。以 A320 为例,如果飞机利用率高且飞行航程短,则 C 检取决于飞行循环;如果飞机利用率高但飞行航程长,则 C 检取决于飞行小时;如果飞机利用率低,则 C 检取决于日历月。B 检不常见,仅用于旧型号飞机。A 检与 C 检可能占总维修成本的 40%~50%。

当两种检查重叠时,低检查包含高检查。以

A320 为例,假定每 600FH 做一次 A 检,则第 10 次 A 检与 C 检相遇,A 检可以变成更为重要的 C 检的一部分。航空公司在制订维修计划时,可能因飞机 D 检时间正好与旅客高峰期冲突,或机库无空间,提前或推后安排检查。

表 1 各类维修检查的典型范围和需要时间

检查类型	地点	维修检查范围	需要时间
航线检查	机场	日常检查(每日首次飞行前或每次着陆时),目视检查液体量、轮胎和刹车和应急设备	约 1 小时
A 检	机场	日常小修,发动机检查	约 10 小时 (一个夜班)
B 检	机场	如果执行,类似于 A 检,但任务不同(可能在两次 A 检之间执行)	10 小时 到 1 天左右
C 检	机库	机体结构检查,打开检修口盖,常规和非常规维修,开车试验	3 天到 1 周左右
D 检	机库	除漆后做机体主结构检查,拆卸发动机、起落架和襟翼、仪表、电子电气设备、内设配件(座椅和壁板),拆卸液压和气动部件	1 个月左右

注:需要时间取决于所发现的缺陷和所需的维修方法

表 2 典型维修检查间隔

机型	A 检	C 检	D 检
B737-300	275FH	18M	48M
B737-400	275FH	18M	48M
B737-500	275FH	18M	48M
B737-800	500FH	4 000 ~ 6 000FH	96 ~ 144M
B757-200	500 ~ 600FH	18M/6 000FH/3 000FC	72M
B767-300ER	600FH	18M/6 000FH	72M
B747-400	600FH	18M/7 500FH	72M
A319	600FH	18 ~ 20M/6 000FH/3 000FC	72M
A320	600FH	18 ~ 20M/6 000FH/3 000FC	72M
A321	600FH	18 ~ 20M/6 000FH/3 000FC	72M
ATR42-300	300 ~ 500FH	3 000~4 000FH	96M
ATR72-200	300 ~ 500FH	3 000 ~ 4 000FH	96M

注:FH—飞行小时;FC—飞行循环;M—日历月

1.3 机龄对维修成本的影响

飞机及其发动机的维修成本随机龄而变。在制造商商保期内的新机的维修成本相对较低,之后维修成本将随着机龄增长而稳态上升。达到成熟期(一般不短于 5 年)后,飞机有稳定可预测的维修成本。老龄飞机的维修成本会再次上升。老龄飞机要求做更多的以及因适航通报或防锈导致的非常规或补救性维修,因此维修成本会再次上升。

图 1 给出了飞机总维修成本与平均机队机龄的关系,在进行统计数据处理时,把平均机队机龄划分为 0~6 年、6~12 年和 12 年以上三段,并假设平均机队机龄 6 年的总维修成本为 1.0。统计结果表明,对于成熟机型,机龄为 0~6 年时,维修成本的年均增长率为 17.6%;机龄为 6~12 年时,维修成本的年均增长率为 3.5%;机龄为 12 年以上时,维修成本的年均增长率为 0.7%。

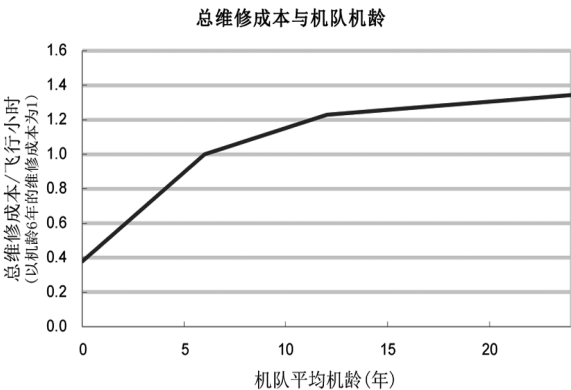


图 1 机龄对总维修成本的影响

1.4 飞机维修成本统计数据

统计表明,在维修成本中,机体/部件维修成本约占 65%,发动机维修成本约占 35%。机体/部件维修成本中的 50% 和发动机维修成本的 60% (即全机的 53.5%) 与飞行循环有关,剩余的 46.5% 与轮档时间有关。在美国,人工成本占维修成本的 80%。

表 3、图 2 和图 3 给出了中国某航空公司按机型的维修成本统计数据(2010 年)。这些部分时段实录的维修成本数据缺乏完整性、状态不清(例如机龄)、数据分散,难以应用于维修成本分析,只有 A320-200 飞机的维修成本统计数据有较好的规律性。

表 4 给出了美国航空公司的新型窄体机和宽体机单位轮档小时平均维修成本数据。

表5给出了在欧洲运营的12款飞机在高、中和低三种条件下的单位轮档小时维修成本。该数据是依据2002年的统计数据经修正得到的。

表3 按机型的维修成本统计数据
(2010年中国某航空公司)

机型	平均航段距离(km)	循环成本(元)	飞行时间成本(元)	总成本(元)
A320	1 239	838	6 250	7 088
A319	1 239	1 142	2 125	3 267
B737-800	1 307	1 244	7 672	8 917
B737-700	1 328	1 860	6 743	8 602
B737-300	1 179	4 230	8 437	12 667

A320-200飞机维修成本
(中国某航空公司2010年统计数据)

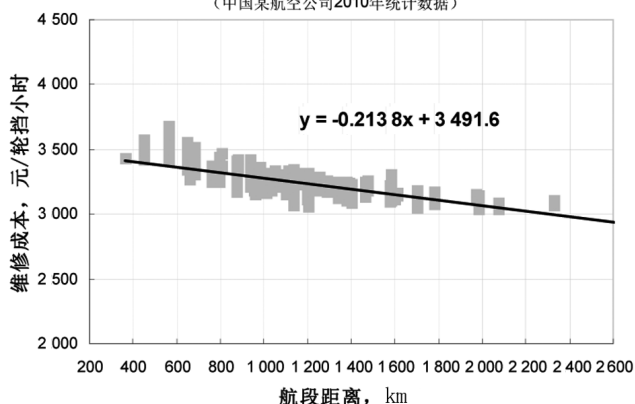


图2 A320-200飞机维修成本统计数据

B737-800飞机维修成本
(中国某航空公司2010年统计数据)

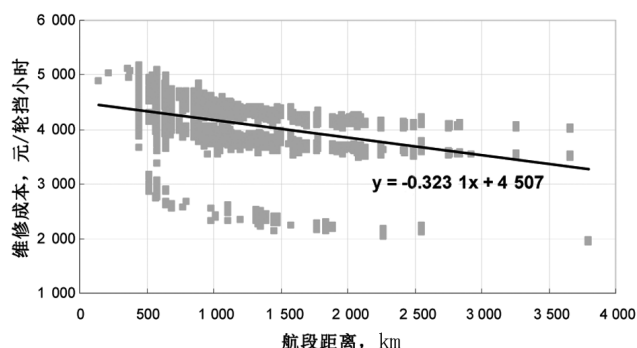


图3 B737-800飞机维修成本统计数据

表4 按飞机类别的单位轮档小时平均维修成本
(美国)

机型	2002年,美元	2006年,美元
窄体机	597	564
宽体机	1 065	1 031

表5 单机平均维修成本/轮档小时(欧洲,2008年)

机型	单机维修成本/轮档小时,欧元/轮档小时		
	低	中	高
B737-300	690	740	900
B737-400	710	760	930
B737-500	570	620	770
B737-800	500	540	670
B757-200	840	900	1 090
B767-300ER	930	970	1 280
B747-400	1 440	1 500	1 930
A319	580	630	800
A320	570	620	770
A321	660	720	910
ATR42-300	350	370	380
ATR72-200	430	460	460

2 飞机维修成本分析方法和比较

2.1 Liebeck 方法

该方法是由 Robert Liebeck 在 1995 年发表的研究报告《Advanced Subsonic Airplane Design & Economic Studies》(NASA CR-195443)中采用的方法^[3],用于飞机构型优化分析。Anthony P Hays 在其 2009 年发表的著作《Aircraft and Airline Economics》^[4]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。在下面的计算模型描述中考虑了文献 4 的修正。

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)由机体维修劳务成本、机体维修材料成本、机体维修管理成本、发动机维修劳务成本、发动机维修材料成本及发动机维修管理成本 6 部分组成。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。

(1) 机体维修劳务成本(AMLC),单位:美元/航段

$$AMLC_{FH} = 1.26 + \left[1.774 \times \left(\frac{AFW}{10^5} \right) \right] - 0.170 \times \left(\frac{AFW}{10^5} \right)^2 \quad (1)$$

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

$$AML = AML_{FH} \times FH + AML_{FC} \quad (3)$$

$$AMLC = AML \times R \quad (4)$$

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:lb。

AFW 等于制造空重减去发动机干重。

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,在本文中,为了与 2011 年的经济环境相适应,改为 28 美元/小时。

(2) 机体维修材料成本 (AMMC),单位:美元/航段

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

$$AMM_{FC} = \left[15.20 + 97.33 \times \frac{AFW}{10^5} - 2.862 \times \left(\frac{AFW}{10^5} \right)^2 \right] \times F_{CPI} \quad (6)$$

$$AMMC = AMM_{FH} \times FH + AMM_{FC} \quad (7)$$

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。

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

(3) 机体维修管理成本 (AMOC),单位:美元/航段

$$AMOC = 2.0 \times AMLC \quad (8)$$

(4) 发动机维修劳务成本 (EMLC),单位:美元/航段

$$EML = \left[0.645 + \left(0.05 \times \frac{SLST}{10^4} \right) \right] \times \left(0.566 + \frac{0.434}{FH} \right) \times FH \times N_e \quad (9)$$

$$EMLC = EML \times R \quad (10)$$

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:lb。

N_e 为每架飞机的发动机数。

(5) 发动机维修材料成本 (EMMC),单位:美元/航段

$$EMMC = \left[\left(25 + 0.25 \times \frac{SLST}{10^4} \right) \times \left(0.62 + \frac{0.38}{FH} \right) \times FH \times N_e \right] \times F_{CPI} \quad (11)$$

(6) 发动机维修管理成本 (EMOC),单位:美元/航段

$$EMOC = 2.0 \times EMLC \quad (12)$$

2.2 欧洲 98 年方法

该方法是 AE100 项目曾使用的分析方法。飞机维修成本是下述四项成本之和。

(1) 机体维修劳务成本 (C_{al}),单位:美元/航段

$$C_{al} = [C_{al1} \times (t - 0.25) + C_{al2}] \times R \quad (13)$$

式中,

C_{al1} 为与飞行时间有关的机体维修劳务成本:

$$C_{al1} = 0.01074017 \times \frac{MEW}{1000} + 0.993906$$

C_{al2} 为与飞行循环有关的机体维修劳务成本:

$$C_{al2} = 0.03476488 \times \frac{MEW}{1000} + 0.3638791$$

R 为工时费率 (包含消耗) (美元),假定为 50 美元 (在本文中,为了与 2011 年的经济环境相适应,改为 60 美元)。

t 为轮挡时间 (小时)。

MEW 为制造空重 (公斤)

(2) 发动机维修劳务成本 (C_{el}),单位:美元/航段

$$C_{el} = (C_{el1} \times R_1 + C_{el2} \times R_2) \times (t - 0.25) \quad (14)$$

式中,

C_{el1} 为与飞行时间有关的发动机维修劳务成本:

$$C_{el1} = 0.01665776 \times \frac{T}{1000} \times \frac{N_e}{2 \times 2.5} + 0.03099176 \quad (15)$$

C_{el2} 为与飞行循环有关的发动机维修劳务成本:

$$C_{el2} = 0.123\ 209\ 6 \times \frac{T}{1\ 000} \times \frac{N_e}{2 \times 2.5} + 0.093\ 801\ 28 \quad (16)$$

R_1 为航线维修工时费率(包含消耗)(美元),假定为 50 美元(在本文中,为了与 2011 年的经济环境相适应,改为 60 美元)。

R_2 为返厂维修工时费率(包含消耗)(美元),假定为 70 美元(在本文中,为了与 2011 年的经济环境相适应,改为 80 美元)。

N_e 为每架飞机的发动机台数。

T 为单台发动机海平面起飞静推力(磅)。

(3) 机体维修材料成本(C_{am}),单位:美元/航段

$$C_{am} = C_{am1} \times (t - 0.25) + C_{am2} \quad (17)$$

式中,

C_{am1} 为与飞行时间有关的机体维修材料成本:

$$C_{am1} = 1.056\ 848 \times \frac{MEW}{1\ 000} + 27.367\ 17 \quad (18)$$

C_{am2} 为与飞行循环有关的机体维修材料成本:

$$C_{am2} = 3.985\ 504 \times \frac{MEW}{1\ 000} - 7.837\ 652 \quad (19)$$

(4) 发动机维修材料成本(C_{em}),单位:美元/航段

$$C_{em} = C_{em1} \times (t - 0.25) + C_{em2} \quad (20)$$

式中,

C_{em1} 为与飞行时间有关的发动机维修材料成本:

$$C_{em1} = 2.592\ 102 \times \frac{T}{1\ 000} \times \frac{N_e}{2 \times 2.5} + 71.869\ 67 \quad (21)$$

C_{em2} 为与飞行循环有关的发动机维修材料成本:

$$C_{em2} = 3.149\ 038 \times \frac{T}{1\ 000} \times \frac{N_e}{2 \times 2.5} + 16.601\ 23 \quad (22)$$

2.3 AEA2009 年方法

AEA2009 年方法是 Association of European Airlines 建立的,广泛用于竞争分析和构型优化。概述如下。

(1) 机体维修劳务成本(C_{al}),单位:美元/轮挡小时

$$C_{al} = R \left[\left(0.09 W_{af} + 6.7 - \frac{350}{W_{af} + 75} \right) \times \left(0.8 + 0.68 \frac{t - 0.25}{t} \right) \right] \quad (23)$$

式中,

W_{af} 为机体重量(t),即制造空重减去发动机重量。

t 为轮挡时间(h)。其中地面时间是 0.25t,即空中时间是(t-0.25)。

R 为工时费率(包含消耗)(美元/工时),本文取 28 美元/工时。

(2) 机体维修材料成本(C_{am}),单位:美元/轮挡小时

$$C_{am} = \frac{4.2 + 2.2(t - 0.25)}{t} \times \text{机体交付价} \quad (24)$$

机体交付价(百万美元)为飞机交付价减去发动机价格。

(3) 发动机劳务成本

与时间有关的发动机劳务成本(L_t),单位:美元/飞行小时为:

$$L_t = 0.21 RC_1 C_3 (1 + T)^{0.4} \quad (25)$$

式中,

$$C_1 = 1.27 - 0.2 BPR^{0.2} \quad (26)$$

$$C_3 = 0.032 n_c + k \quad (27)$$

T 为海平面起飞静推力(t)。

BPR 为函道比。

n_c 为压气机级数(包括风扇)。

k 为轴数的函数,见表 6。

表 6 轴数的函数

轴数	1	2	3
k	0.52	0.57	0.64

与起落次数有关的发动机劳务成本(L_c)(美元/飞行循环)为:

$$L_c = 1.3 L_t \quad (28)$$

(4) 发动机材料成本

与时间有关的发动机材料成本(M_t),单位:美元/飞行小时

$$M_t = 2.56 (1 + T)^{0.8} C_1 (C_2 + C_3) \quad (29)$$

式中,

$$C_2 = 0.4 \left(\frac{OAPR}{20} \right)^{1.3} + 0.4 \quad (30)$$

$OAPR$ 为总压比。

与起落次数有关的发动机材料成本(M_c)(美元/飞行循环)为:

$$M_c = 1.3 L_t \quad (31)$$

发动机维修成本(C_e)由上述四项构成,它们的单位不同,当单位统一为“美元/轮挡小时”时,可综

合写为:

$$C_e = N_e (L_i + M_i) \frac{t_f + 1.3}{t_f + 0.25} \quad (32)$$

式中,

N_e 为每架飞机的发动机数。

t_f 为空中时间, $t_f = t - 0.25$ 。

综上所述, 飞机维修成本 (C) (美元/轮挡小时) 为:

$$C = C_{al} + C_{am} + C_e \quad (33)$$

2.4 Harris 方法

该方法是 Franklin Harris 在 2005 年发表的《An Economic Model of U. S. Airline Operating Expense》(NASA CR-2005-213476) (见文献 5) 中采用的方法。该模型基于对 67 家美国航空公司 1999 年向美国运输部报告的运营数据的回归分析, 适用于对美国现役机队进行经济性分析。

维修成本 (MC) 是机体维修成本 (AMC) 与发动机维修成本 (EMC) 之和。

(1) 机体维修成本 (AMC)

$$AMC = K [W_{REF}^{0.72118} FH^{0.46050} DEP^{0.32062} NAC^{0.20700} (1 + \text{公司内维修比例})^{-0.43177}] \quad (34)$$

(2) 发动机维修成本 (EMC)

$$EMC = K [T^{0.89650} N_e^{0.92340} FH^{0.15344} DEP^{0.37535} NAC^{0.4429} (1 + \text{公司内维修比例})^{-0.34704}] \quad (35)$$

式中,

$$\text{常数 } K \text{ 为 } K = ST \times 1.73 \times CF \times MF \times ET \quad (36)$$

式中,

ST 为服务类型。客机取 1, 货机取 1.325 2。

ET 为发动机类型。涡扇取 1, 涡桨取 1.264 4。

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 0.710 4 (例如 B737-300), 近期机型取 0.514 (例如 B737-500), 较新机型取 0.426 0 (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 0.447 0; 低取 0.833 9; 平均取 1.0, 高取 1.301 9。

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。

3 算例分析

以 A320 飞机为例, 把四种维修成本计算方法的单位轮挡小时维修成本分析结果, 与中国、美国及欧洲航空公司的维修成本统计数据进行了比较, 如图 4 所示。除 Harris 方法 (仅限于美国市场条件) 外, 其余三种计算方法与窄体维修成本统计数据都有良好的符合性。在比较中我们采用了下述假设:

(1) 单位轮挡小时维修成本与航线距离有关。美国和欧洲航空公司的窄体维修成本统计数据未说明航线距离, 在分析中我们假设平均航线距离是 500nm。

(2) 在 Liebeck 方法和 AEA2009 年方法中, 均假定工时费为 28 美元, 维修分摊成本 (包含管理、检验和设备等) 另行计算; 在欧洲 98 年方法中, 航线维修工时费假定为 60 美元, 返厂维修工时费假定为 80 美元, 但维修分摊成本包含在内。虽然工时费假定相差很大, 但含义不同。

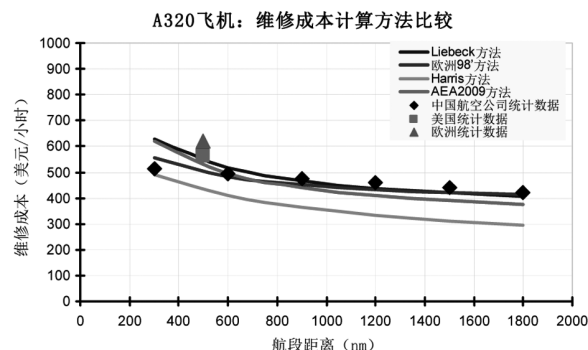


图 4 四种维修成本计算方法比较 (A320 飞机)

比较四种维修成本计算方法, 可以看出, AEA2009 年方法需要输入飞机和发动机的价格数据, 以及许多发动机技术参数, 在初步设计阶段或竞争分析时, 可能存在数据不足的问题。因此, 采用 Liebeck 方法作为民机初步设计阶段的飞机直接维修成本计算方法的基础比较符合中国市场的实际情况。

4 结论

本文在总结民机直接维修成本影响因素的基础上, 综合分析了四种 DMC 计算分析方法, 并通过

(下转第 43 页)

度的分配值进行下一轮调整。

系统的可靠性预计与分配需要从设计初期开始进行分析与论证,以保证飞机各个系统的签派可靠度可靠性指标,相关分析结果往往要相互迭代数轮,只有这样才能随着设计过程的不断深入,更加准确地分配和预计飞机的签派可靠度,如图4所示。

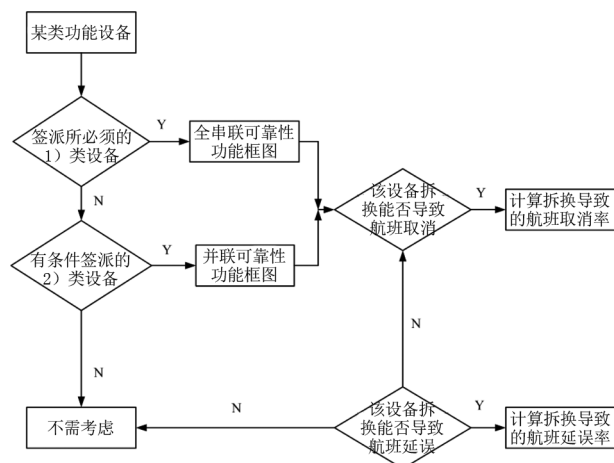


图3 LRU单元影响签派分析流程图

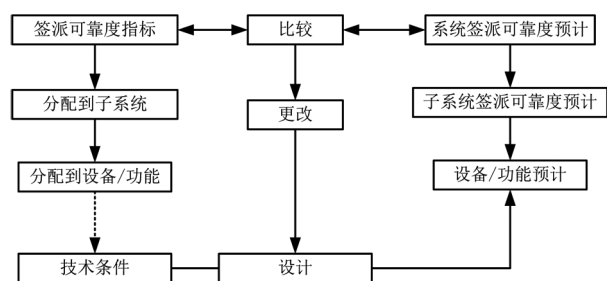


图4 可靠性分配与预计关系图

现代民用客机各个系统往往是机电液一体化的复杂系统^[5],通常缺乏在飞机研制阶段的可靠性

数据以及其他数据^[6],通过对飞机的签派可靠度的分配和预计,可以定量地得出影响飞机整体签派可靠度水平系统、子系统和LRU设备,在保证飞机安全性的基础上合理调整飞机的构型,以提高飞机的签派可靠度水平。

5 结论

本文提出了民用飞机在设计阶段签派可靠度分配与预计的综合方法,并将该方法应用到民用飞机的签派可靠度评估中,从而帮助调整飞机实际构型和方案,以提高飞机整体的签派可靠度水平,该方法适应范围广,有工程应用推广价值。

参考文献:

- [1] 谭庭状,廖俊国. 机场航班正点管理工作浅探[J]. 中国民用航空,2008(1):58-60.
- [2] 谢春生,赵焯韩,红蓉. 签派工作中的人为因素分析[J]. 中国民航飞行学院学报,2007(5):18-19.
- [3] 许科龙. 民用航空器主最低设备清单建议书(PMMEL)编制工作研究[J]. 民用飞机设计与研究,2009(1):22-38.
- [4] AeroSpace and Defence Industries Association of Europe - ASD Ministries of Defence of the member countries of ASD, International specification for technical publications[M], 2008.
- [5] 赵影 钟小东. 关于航班延误问题的探讨[J]. 交通与运输,2006(4):41-42.
- [6] 赵德孜,温卫东. 航空动力装置任务可靠度模糊预计与分配的综合[J]. 南京航空航天大学学报,2005(4):466-470.

(上接第27页)

算例进行分析比较,最终获得满足中国市场情况用于民机型号初步设计的DMC计算模型。该模型已经应用于某型民机的经济性分析和竞争分析之中,具有一定的工程指导意义。

然而,考虑到航空公司的维修能力和维修方案的差异,成本模型需要进一步的细化以期更加符合市场情况,此外,本文所述模型的正确应用还需要更加翔实科学的统计数据来支持。因此,今后主要的研究方向包括:

(1)结合中国民机运营的情况,研究规范化和科学化的DMC数据构成和统计形式。

(2)结合中国民机制造业的特点,研究DMC指

标的分解和设计实现方法。

参考文献:

- [1] Transport Studies Group University of Westminster, Dynamic Cost Indexing. 02 June 2008.
- [2] Matthew Dixon, The Maintenance Costs of Aging Aircraft: Insights from Commercial Aviation, 2006.
- [3] Liebeck R. H., et al., Advanced Subsonic Airplane Design & Economic Studies. NASA CR-195443, April 1995.
- [4] Anthony P Hays, Aircraft and Airline Economics. 2009.
- [5] Harris Franklin, An Economic Model of U. S. Airline Operating Expense. NASA CR-2005-213476.