

民用客机研制阶段签派可靠度 分配和预计

A Method of Dispatch Reliability Distribution and Prediction for Civil Aircraft in Development Phase

郭 伟/ Guo Wei

(上海飞航设计研究院, 上海 200232)

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

摘 要:

讨论了民用飞机航班延误的主要原因,着重分析了因技术原因导致航班延误和取消的三类设备,并结合飞机的构型和主最低设备清单(建议书)(P)MMEL给出了在民用客机研制阶段签派可靠度的分配和预计的初步模型和计算方法,为签派可靠度的定量分配与预计以及设计构型方案的改进和权衡提供指导。

关键词:民用客机;延误;签派可靠度;分配和预计

[**Abstract**] Discuss about the main reasons for the scheduled flight, analyze the 3 kinds of equipments, which may lead to the scheduled flight delay or cancellation. Combined with the aircraft configuration and (P)MMEL, to find out a model and method of Dispatch Reliability distribution and Prediction for Business Aircraft in Development Phase. It's significant for dispatch reliability quantitative distribution and prediction, also for the design configuration improvement and tradeoff.

[**Key words**] Civil Aircraft; Delay; Dispatch Reliability; Distribution and Prediction

0 引言

航班延误问题一直是社会各界关注的热点,由此引发的问题日益成为影响航空公司效率和服务质量的核心问题^[1],也影响着旅客对于航空公司的选择。由于航空运输的特殊性与复杂性,因此对飞机自身的技术因素、航路管制因素、机场因素,以及航空公司管理因素等方面都有较高的要求^[2]。

签派可靠度的高低,即航班的正点率水平,在很大程度上受飞机自身设计的影响,若能合理地进行飞机签派可靠度的分配预计,并调整系统构型设计,可有效提高飞机的签派可靠度水平。目前,我国民用飞机签派可靠度往往是航空公司的一个定期运营统计值,并在可靠性月报中得到体现。但在民用飞机研制阶段,对签派可靠度水平缺乏有效成熟的评估方法。

本文初步提出了一种民用客机研制阶段中技术层面上的签派可靠度分配和预计的模型和方法。

1 影响签派的设备

通常在保障民用客机飞行安全的基础上,(P)MMEL确定了可以处于不工作状态的具体设备项目,此类设备和功能清单,只要保证在机型适航审定时所规定补偿保护措施的基础上,这些设备或功能的不工作不会对飞机的持续安全飞行与着陆产生影响。这种安全水平是针对客机型号审定并在审定基础上明确最低标准的具体运行类型而言^[3]。对于一般民用客机来说,系统设备(或部件)与(P)MMEL的关系大致可以分为以下三种类型:

1)对于飞行安全明显有着重大影响(或部件),不应列入(P)MMEL项目;

2)对飞行安全影响有一定影响,但仍可在一定的限制条件下签派放飞的设备(或部件),应编入

(P)MMEL;

3)对飞行安全基本没有影响的设备(或部件),一般不应列入(P)MMEL。

此类影响包括该设备可能产生的继发故障对飞行安全产生的影响,对于机组人员能否正常执行机组飞行手册,以及机组人员的工作负担是否明显增加等。

以上分析表明,从保证飞行安全,能否签派飞机的角度来看,一般可以把民用飞机的相关系统设备(或部件)分成以下三种类型:

1)该类设备(或部件)故障,直接影响飞行安全,不允许签派;

2)该类设备(或部件)故障,在满足一定的正常工作设备数量和放飞条件限制的条件下,可以确保短时间飞行安全,允许带故障签派,但是如果不能满足正常设备数量和放飞条件限制的条件,则不允许签派;

3)该类设备(或部件)故障,不影响飞行安全,可以带故障签派。

从以上总结的三类设备可以得出,在飞机构型确定或大致确定的情况下,可以根据1)类非(P)MMEL项目和2)类非(P)MMEL项目,分析客机设备(或部件)的实际情况,进行客机签派可靠度的分配和预计。

2 签派可靠度分配

根据上述分析结果,民用客机取决于上述1)类和2)类设备的可用性的情况,通常在外场所更换的设备均为LRU级别,为了简化计算我们将所有系统的1)类和2)类LRU设备,作为我们需要考虑的设备范围汇总。

统计结果如表1所示, X 代表1)类LRU, Y 代表2)类LRU安装数量, Z 代表2)类LRU签派要求数量, Q 代表1)类和2)类LRU签派要求的总数量。

表1 民用客机签派要求LRU统计表

ATA*章节/ 系统 ^[4]	1)类 LRU	2)类LRU		签派要求数量
		系统安 装数量	签派要 求数量	
21 空调	X_{21}	Y_{21}	Z_{21}	$Q_{21} = X_{21} + Z_{21}$
...
80 启动	X_{80}	Y_{80}	Z_{80}	$Q_{80} = X_{80} + Z_{80}$
全机	X_{SUM}	Y_{SUM}	Z_{SUM}	Q_{SUM}

这样得到了一个关于该机型的LRU设备清单,根据此清单对的飞机各个章节的签派可靠度指标进行初步分解。

假设某型民用客机的签派可靠度指标要求为 P ,根据该民用客机的各个ATA章节签派可靠度指标, P_{21}, \dots, P_{80} *初步分配如下:

$$P = \prod_{i=21}^{80} P_i \quad (1)$$

$$Q_{SUM} = \sum_{i=21}^{80} Q_i \quad (2)$$

根据式(1)和式(2),得到这次分配的种子因子 e :

$$e = Q_{SUM} \sqrt{P} \quad (3)$$

根据式(3)和表1所统计的各个系统的复杂程度,可以得到关于不同系统的签派可靠度指标的初步分配结果:

$$P_i = e^{Q_i} \quad (4)$$

至此,完成了签派可靠度指标的初步分配流程。下一步将进行各个ATA章节系统的签派可靠度的预计工作。

3 签派可靠度预计

为了论证及调整上述签派可靠度指标分配的合理性及适用性,需对各个章节指标进行预计和确认。

签派可靠度反应了飞机在航线中完成签派的能力,因此预定用于冗余或代替工作模式的单元应该在模型中反映为并联或旁联结构,因此签派可靠度模型是复杂的串-并-旁联结构。推荐采用基于系统构型的签派分析法,根据飞机构型清单和(P)MMEL,以及供应商所提供的设备/器件MTBF、MTTR清单进行相应的预计工作。以某系统为例,步骤如下:

1)绘制该系统如上所述的1)类LRU的全串联模型可靠性模型框图,如图1所示;



图1 1)类LRU可靠性框图

2)画出(P)MMEL规定中ATA章节系统不同功能设备单元的可靠性功能框图((P)MMEL相同设备采用并联框图),如图2所示;

3)对应设备的MTBF清单,计算各个功能单元的失效概率;

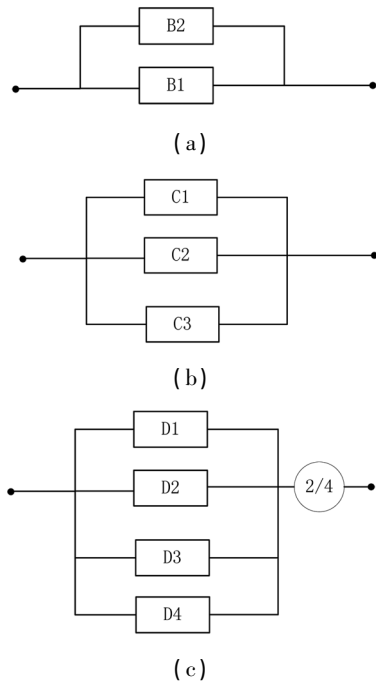


图 2 1) 类 LRU 可靠性框图

4) 对应设备的 MTTR 清单, 查看拆换时间, 如表 2 所示;

5) 对应设备的 MTTR 清单, 计算各个功能单元的失效概率, 如表 3 所示。

表 2 系统 LRU 数据汇总表

LRU 编号	器件名称	器件数量	故障率 (1/MTBF)	MTTR 时间
1	A1	1	$\lambda(A1)$	$MTTR_{A1}$
2	A2	1	$\lambda(A2)$	$MTTR_{A2}$
3	A3	1	$\lambda(A3)$	$MTTR_{A3}$
4	A4	1	$\lambda(A4)$	$MTTR_{A4}$
5	B1 (B2)	2	$\lambda(B)$	$MTTR_B$
6	C1 (C2/C3)	3	$\lambda(C)$	$MTTR_C$
7	D1 (D2/D3/D4)	4	$\lambda(D)$	$MTTR_D$

表 3 影响签派 LRU 故障率统计

LRU 类型	安装数量	签派最低数量	可靠性框图	单次航段失效概率 P^{*1}	LRU ^{*2} 拆换导致航班延误 ^{*3}	LRU 拆换导致航班取消 ^{*3}	
A	1) 类	4	4	图 1	$P(A1) + P(A2) + P(A3) + P(A4)$	否	
B	2) 类	2	1	图 2 (a)	$P^2(B)$	是	
C		3	1	图 2 (b)	$C_3^2 P^3(C)$	是	
D		4	2	图 2 (c)	$C_4^3 P^3(D) + P^4(D)$		是
系统延误率		$P(Delay) = P^2(B) + C_3^2 P^3(C)$					
系统取消率		$P(Cancellation) = C_4^3 P^3(D) + P^4(D)$					

注: 1. $P(X)$ 为在平均一次航班飞行中 LRU 的故障率。可近似为:
 $p(x) \approx \lambda t_0$
 式中: λ 为单位时间故障率, t_0 为平均航段时间。
 2. 此例中同一功能单元 (如 B1 和 B2) 中的 LRU 认为拆换时间相同, 若不同, 则应综合 LRU 拆换时间, 按照 LRU 的故障率加权考虑该功能单元导致的取消率和延误率, 此处的 LRU 更换不包含机场备件因素的延迟。

根据公式:

$$DR = \frac{\text{营运离站次数} - \text{延误次数}}{\text{营运离站次数} + \text{取消次数}} \times 100\% \quad (5)$$

其中: 假设营运离站次数为 M_0 。

$$\text{延误次数} = M_0 P(Delay) \quad (6)$$

$$\text{取消次数} = M_0 P(Cancellation) \quad (7)$$

将以上过程总结出一个流程图, 如图 3 所示。

将式(6)和式(7)带入式(5), 便可以得出该系统的签派可靠度预计 P_j 。

各个系统完成各自的签派可靠度预计后, 将 P_j 带入式(1), 那么可以得到整机级别的签派可靠度 P^* 。

4 分析和讨论

通过上述方法, 完成了一轮签派可靠度分配指标和预计工作, 并将得到的系统级别签派可靠度分配指标 P_i 和整机级别签派可靠度分配指标 P 相比, 经过综合权衡后, 对全机级别 ATA 章节的签派可靠

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。

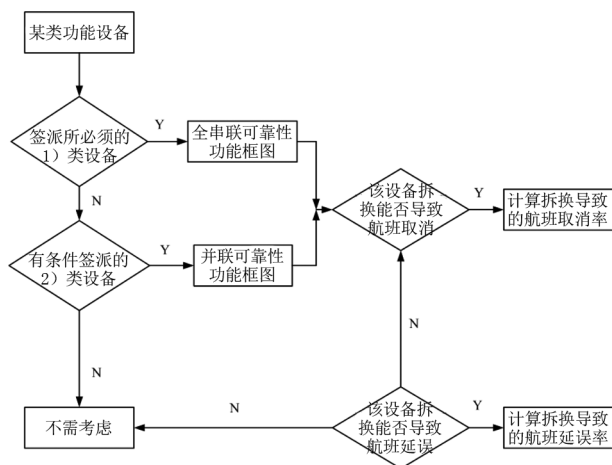


图3 LRU单元影响签派分析流程图

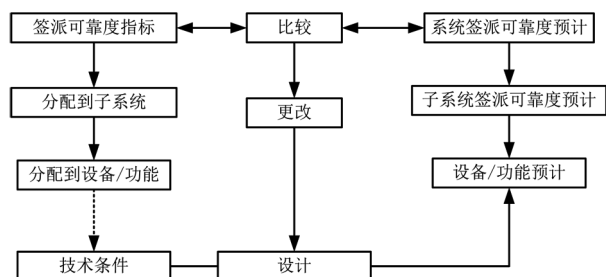


图4 可靠性分配与预计关系图

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.