

维修方案的优劣将直接影响到飞机的安全性，操作性和经济性。通过科学合理地制定和安排预防性维修，对维修方案进行优化，可在保证飞机持续适航的前提下，降低维修成本。

# 浅谈飞机维修方案的优化

## Briefly Introduction of Optimization of Aircraft Maintenance Schedule

◎许燕菲 / 厦门航空有限公司

飞机维修方案是飞机所有预防性维修工作的指导文件。波音公司的飞机维修方案的一般流程如图1所示。维修方案是否科学，不仅关系到飞机的安全与适航，而且直接影响到飞机维修的成本。在参考波音MPD的基础上，只有结合航空公司自身的实际情况，通过可靠性数据采集分析和工程评估，科学动态地优化维修方案，才能真正实现以最低的维修费用保证飞机的持续适航。本文通过对维修组合和维修项目的优化来介绍飞机维修方案的优化。

可以通过建立一个优化模型来研究维修方案的优化策略。用  $C_i$  表示需要优化的目标值， $C_w$  表示总维修成本， $C_m$  表示材料成本， $C_h$  表示人工成本， $C_p$  表示由于飞机停场导致的营运损失。则

$$C_w = C_m + C_h$$

$$C_i = C_m + C_h + C_p$$

影响  $C_m$  的主要因素是维修的频次以及每次维修需要的材料、备件的数量；影响  $C_h$  的主要因素是维修工时；影响  $C_p$  的主要因素是飞机停场时间的长短。因此，优化飞机维修方

案的基本策略就是在保障安全的前提下，设法缩短维修停场的时间、减少维修停场的频次或每次维修更换备件的数量，尽可能减小  $C_m$  或  $C_h$  或  $C_p$ ，实现  $C_i$  最小。

### 维修组合的优化

根据航空公司机队实际运行情况、维修项目工作量和周期，合理地将检查间隔相近的维修项目进行优化组合，才能编制出科学可行的维修方案。通过合理的维修组合完成相同的维修项目，可以减少定检的停场时间和工时，进而达到减少  $C_i$  的目的。

### 案例一：波音 757-200 型飞机 C 检维修组合的优化

波音 757-200 的 MRB 定义“系统检查”的 C 检间隔为 6000FHRS 或 18 个月，先到为准；而“结构检查”的 C 检间隔为 3000CYC 或 18 个月，先到为准。

厦航公司的航线结构多为国内短航线，波音 757-200 飞机 18 个月大约飞 4200FHRS/3100CYC。因此，3000CYC 最先到，其次是 18 个月，最后才是 6000FHRS。按照维修大纲

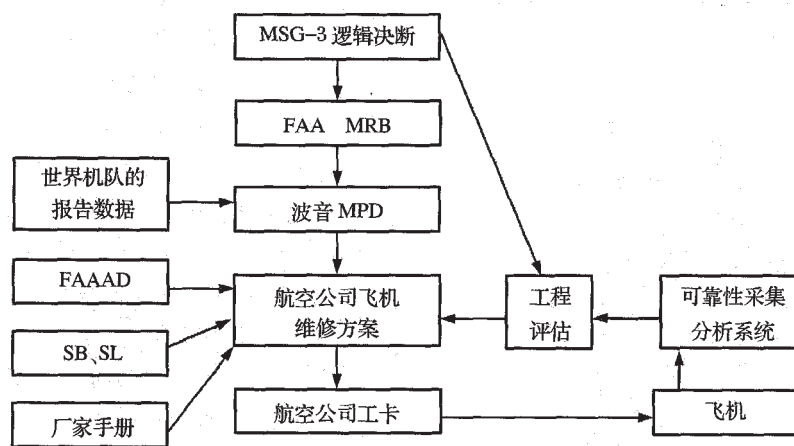


图1 维修方案的制定、优化流程

的要求,飞机飞行 3000CYC ( 大约 4065FHRS )要求做结构 C 检。飞机飞行 18 个月( 大约 4200FHRS )要求做系统 C 检。系统 C 检和结构 C 检间隔大致只有 135 小时。

在满足维修大纲要求的前提下,考虑航线结构的变动,以 4000FHRS 作为系统 C 检和结构 C 检的共同基准,将系统检查和结构检查组合。对于以飞行小时及飞行起落数为检查间隔的项目,通过分析,一部分进行附件监控,一部分经过相应的折算,归并到周期性的定检中。

系统 C 检和结构 C 检的间隔大致相同,合并没有因系统间隔的缩短造成太多浪费。且可带来以下好处:

( 1 ) 只需以飞行小时对定检进行控制,简化了生产计划的调配;

( 2 ) 合并后飞机的 C 检停场次数减少了一半,显著降低了  $C_p$ ;

( 3 ) 在人员充足,维修工作不冲突的情况下,利用最短线路原理,可对飞机实行多路并行维修,实现最短的停场时间完成既定维修要求,降低了  $C_p$ ;

( 4 ) 系统 C 检与结构 C 检有着诸多相同的接近区域,组合可大大减少重复打开和关闭接近盖板的工时,从而提高工作效率,减小  $C_h$ 。

通过合理的组合,使  $C_p$  和  $C_h$  同时下降,而由于  $C_m$  大致相同,使得  $C_i$  大大减小,降低维护成本。

以上的组合优化是动态的,如果航空公司的航线结构发生显著改变,需要进行相应调整。

### 维修项目的优化

合理地制定预防性维修项目,可以减少非计划排故,从而降低维修费用。维修项目的优化主要是利用飞机的系统及部件可靠性数据,

通过 MSG-3 的逻辑分析图,按照从简到繁的方式进行逻辑决断,定制合理的维修对象、维修方式和维修间隔,在保证飞机适航的前提下减少  $C_i$  值。

案例二:波音 757-200 飞机空气循环机 (ACM) 维修方式的改进

1997 年厦门航空有限公司波音 757-200 机队频繁出现 ACM 叶片被打坏,导致非计划拆换。当时世界机队 ACM 的平均故障间隔时间 (MTBF) 为 12000FHRS 左右,而厦航机队 ACM 的 MTBF 仅为 6000FHRS。虽然按照波音 757-200 飞机最低放行清单 (MEL),一个空调组件失效的情况下可以放行,但是一个 ACM 的价格为 4 万多美元,而每次送修费用大约为 1.2 万美元。ACM 的可靠性低将直接导致 ACM 的备件成本和送修成本大大增加。为此,有必要对波音 757-200 飞机空调系统的维修方案进行重新评估并做出相应调整。

通过分析 ACM 在厂家的修理报告发现,导致 ACM 故障的主要原因是由于异物 (冰块) 击伤了 ACM 的涡轮叶片。冰块的产生是由于再加热器和低限活门的防冰性能下降所

致。其根本原因是由于国内机场所处的环境清洁度较差,空调系统再加热器、水分离器及其喷嘴和低限活门性能衰减过快造成的。

为了解决这一问题,将波音 757-200 飞机空调系统的维修方案作了相应的项目修订,如表 1。

经过一段时间的运行分析,ACM 的非计划拆换率明显下降,可靠性显著提高。ACM 的 MTBF 从以前的 6000 小时增加到 12000 小时。

以一年为限,机队规模为 7 架,在位 ACM 14 件。假设维修工时费为每人时 35 美元,飞机的平均日利用率为 8 小时,机队每台 ACM 平均每年使用的总时间为 2800 小时,ACM 平均每次送修费用为 1.2 万美元。方案优化前后的维修成本见表 2。

由表 2 测算表明,虽然空调系统的维修方案优化后导致  $C_h$  上升,但每年可以节省的维修成本  $C_w$  为 37896.6 美元,效果十分显著。

经过优化的飞机维修方案具有更强的针对性,在保证飞行安全的同时,减少了飞机的故障率和非计划的停场时间,从而降低了维护成本。

### 结 语

根据航空公司的航线结构,合理地安排预防性维修;利用飞机的系统与部件可靠性数据,有针对性地制定预防性维修方案。最终实现在保证飞机持续适航的同时,尽可能地降低需要优化的目标值  $C_i$ 。 □

表 1 修订的维修项目

维修对象	维修方式	维修间隔	项目工时
低限活门	操作检查	由 2C 缩短为 1C	0.8 (1 架飞机)
水分离器喷嘴	操作检查	由 1C 缩短为 5A	1.2 (1 架飞机)
再加热器	检查与清洁	2C	1.2 (1 架飞机)

表 2 优化前后维修成本比较

优化前的 $C_h$	优化后的 $C_h$	优化前的 $C_m$	优化后的 $C_m$	减少的 $C_w$
274.4	1577.8	78400	39200	37896.6