

飞机维修训练成本的系统动力学分析

System Dynamics Simulation of Aircraft Maintenance Training Cost

浦黎¹ 黄兆东² / Pu Li¹ Huang Zhaodong²

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 201210; 2. 中国航空工业发展研究中心, 北京 100029)

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;

2. AVIC Development Research Institute, Beijing 100029, China)

摘要:

以飞机维修训练成本为研究对象,首先分析了成本产生的因果关系;然后绘制存量流量图,建立存量、流量、辅助变量、常量之间的关联方程并确定其初始值;在确定模型合理的基础上,分析模型的计算结果。分析结果表明本仿真方法具有一定的实用性。

关键词:民用飞机;维修成本;系统动力学;仿真

中图分类号:F41

文献标识码:A

[Abstract] This paper researches the aircraft maintenance training costs. The causal relationship induced by cost is analyzed, and a stock-flow figure is drew. Correlation equations of stock, flow, auxiliary variable and constant are established and their initial values are calculated. Determining the model reasonable, the final results are analyzed. The results show that the simulation method has a certain practicality.

[Key words] Civil Aircraft; Maintenance Training Cost; System Dynamics; Simulation

0 引言

大型民用飞机运营阶段的费用占到飞机寿命周期成本的60%^[1]。其中,维修费用占总费用的10%左右。研究维修保障费用发生和发展变化的规律,研究降低和控制维修保障费用的有效途径,是控制寿命周期费用的重要手段。对维修保障人员的培训是飞机维修保障过程中一个重要的环节,对提升维修人员的技术水平有着非常大的促进作用。当维修保障人员的技术水平高时,将能更加迅速地检测、定位到故障,并以最少时间完成故障件的更换或维修,这样将会带来维修工时、材料、费用的降低。本研究通过分析维修训练过程中要素之间的相互作用和约束,应用系统动力学原理分析飞机维修训练费用产生的动力学特性,并运用计算机进行仿真分析。

1 飞机维修训练成本及其因果关系分析

按培训对象划分,可将人员训练分为4种:机组

(包括飞行员、乘务员等)训练、维修人员训练、飞行教员训练及管理人员训练。

根据ATA 100可将训练按照飞机系统分为两大类:机身系统以及动力装置系统,然后再分为更低层次的若干子目标。

按训练阶段的先后划分,可将训练分为初始训练和后续训练。

(1)初始训练。初始训练是指飞机运营前为顺利地接受新飞机,由制造商协助实施的训练,为机队培养最初的操作与维修工作人员。其目的是尽快使即将交付运营的飞机能为机队掌握,并为后续训练提供经验。由于飞机型号是全新的,训练大纲和训练要求都较灵活,训练的方法也处在探索与累积经验期。初始训练的某些内容可以采取虚拟维修训练方法进行。

(2)后续训练。后续训练是为机队培养正常飞行和维修及其管理人员的训练。这类训练是由航空公司管理和组织实施的,其训练计划正规、具体,训练要求严格。

对于新型号的飞机,在方案阶段后期和工程研

制阶段开始时就应着手研究训练工作。为了保证训练工作落到实处,应制定人员训练大纲和训练计划,并注重研制训练器材和编写技术资料。训练大纲是指导训练工作的基本文件,包括培养目标和要求、受训人员、期限、训练的主要内容与实施训练工作的基本组成和要求。训练计划是实施训练大纲的具体安排和要求,包括训练目的、课程设置、课程的时间安排和进度、训练所需的资源、教材要求、训练方法(理论讲授和实际作业等)以及考核方法与要求等。

若要建立人员培训的系统动力学仿真,需要按照如上所述分成初始训练和后续训练两类,然后整理出相应训练所消耗的资源。在考虑影响维修人员培训保障因果关系时,可按如下考虑:当维修保障人员的技术水平高时,将可能更加迅速地检测、定位到故障,并以最小的时间完成故障件的更换或维修,这样将会带来维修工时、材料、费用的降低。因此尽管培训费用对飞机寿命周期费用的影响微乎其微,本模型仍然将其作为重要的一部分来进行讨论。因为不同机型在不同时期培训的类型、规模、人员等各不相同,因此讨论相应的培训活动并不是一件容易的事情,所以本文将培训活动直接简化成培训费用,以培训费用的高低来衡量培训活动的多少。

影响维修保障人员培训费用的因素如图 1 所示。考虑初始培训和后续培训两种情况及其所消耗的相关资源、时间、进度安排等相关信息,建立起如图 2 所示的维修保障人员培训因果关系模型。



图 1 维修保障人员培训费影响因素

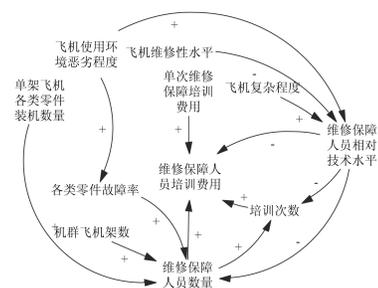


图 2 维修保障人员培训费用产生的因果关系图

2 维修训练成本产生过程的存量流量分析

维修训练过程的存量为培训费,流量为培训费变化量,另外还有一些辅助变量,它们之间的关系如图 3 和表 1 所示。

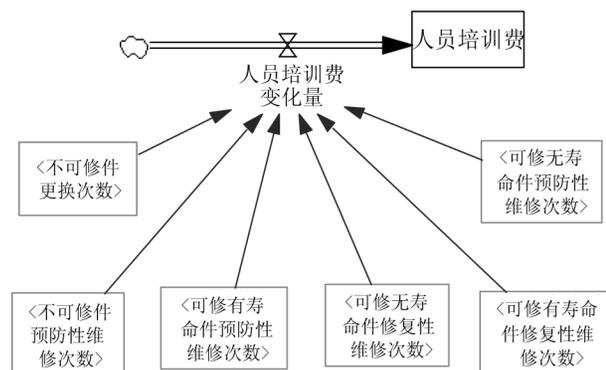


图 3 人员培训费存量流量图

表 1 维修人员训练保障费用产生过程中的存量、流量、关联方程

存量	人员培训费
流量	人员培训费变化量
辅助变量	不可修件更换次数、不可修件预防性维修次数、可修有寿命件预防性维修次数、可修无寿命件修复性维修次数、可修有寿命件修复性维修次数、可修无寿命件预防性维修次数
关联方程	水平变量方程 (1) 人员培训费 = INTEG(人员培训费变化量)
	速率变量方程 (1) 人员培训费变化量 = f(不可修件更换次数, 不可修件预防性维修次数, 可修有寿命件预防性维修次数, 可修无寿命件修复性维修次数, 可修有寿命件修复性维修次数, 可修无寿命件预防性维修次数)

3 案例假设与模型测试

(1) 本模型中发生的所有费用均认为是现值,不再考虑通货膨胀因素。

(2) 机群有 24 架飞机,每架飞机服役期均为 20 年,每架飞机平均年飞行 300 小时。

(3) 该机群的维修保障费用由预防性维修费用、修复性维修费用、备件存储管理费用和维修人员培训保障费用组成。

(4) 预防性维修仅考虑定时维修且时间间隔随着飞机的老化会作一定的调整;修复性维修仅包括

零部件的修复和更换;备件存储管理费用仅受备件数量影响,即每个备件的存储费用是定值;人员培训费用每年的投入费用固定。

(5)假定每架飞机有 100 000 个零件,并且仅有三类零件:可修有寿命件、可修无寿命件、不可修件。其中可修有寿命件 60 000 个,可修无寿命件 20 000 个,不可修件 20 000 个。

(6)所有零件的失效率都一样。

(7)可修有寿命件、可修无寿命件、不可修件三类的单次维修费用都是固定值,检测、维修的工具/设施费也为定值。

(8)飞机故障件现场维修率为固定值。

(9)当某个部件发生故障,采用修复或更换的措施后其可靠性提高,视为元部件的可靠性提高,即某个部件被更换后仍视为原部件的延续,只是其瞬时故障率降低了。

还有其他一些细节性的假设,不再一一阐述。

4 仿真结果分析

因不同型号、在不同时期培训的类型、规模、人员等各不相同,因此讨论相应的培训活动并不是一件容易的事情,所以本文将培训活动直接简化成培训费用,以培训费用的高低来衡量培训活动的多少。

如图 4、图 5 所示,模型对培训费用分别作了 20%、50%、100%、200%、300%、500%、700%、1000% 的提升,以此来观察培训费用对其他维修保障费用的影响。通过图中的曲线可以看出,尽管作了不同比例的提升之后,在飞机的寿命周期内其维修保障费用会出现一定的波动,但是对总费用的影响微乎其微。因此本文建议,当从控制费用的角度来考虑培训问题时可以将其弱化。

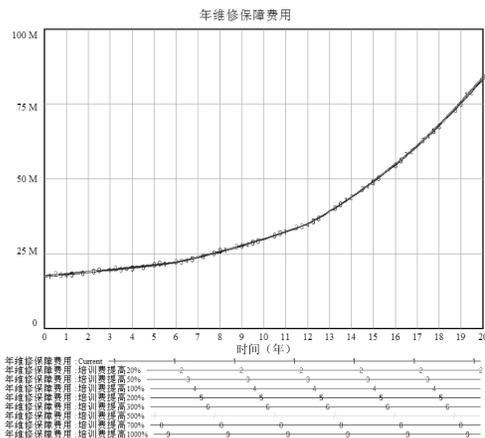


图 4 培训费用的变化对年维修保障费用的影响

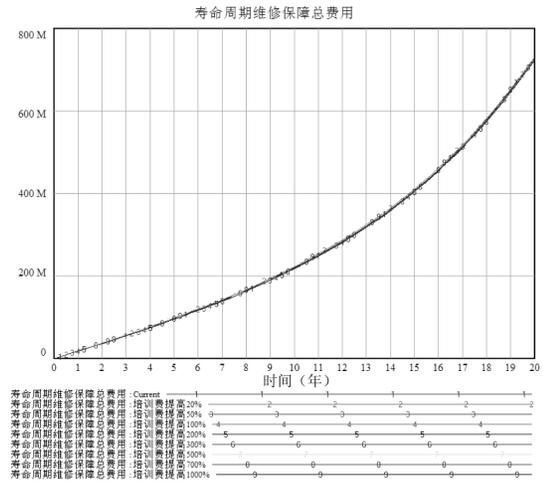


图 5 培训费用的变化对总维修保障费用的影响

5 结论

本文建立了飞机的维修训练费用系统动力学仿真模型。建立该模型的过程是:首先分析维修保障费用产生的因果关系;然后绘制存量流量图,建立存量、流量、辅助变量、常量之间的关联方程并确定其初始值;最后分析模型的计算结果,观察维修训练费用对总维修保障费用的影响。这是一整套分析问题、划定边界、建立模型、检验模型、分析结果、提供决策的方法,为读者提供了应用系统动力学分析飞机维修保障费用甚至全寿命周期费用的有力工具。

参考文献:

- [1] Marina Karyagina, Walter Wong, Ljubica Vlacic. Life cycle cost modeling using marked point processes [J]. Reliability Engineering & System Safety, 1998, 59(3): 291-298.
- [2] Christopher D. Purvis. Estimating C-17 Operating and Support Costs: Development of a System Dynamics Model [R]. Airforce institute of technology, 2001.
- [3] 李郑琦,陈跃良.飞机视情维修策略及其模型研究[J].航空科学技术,2011,03:28-30,
- [4] Zachary F Lansdowne. Built in test factors in a life cycle cost model [J]. Reliability Engineering & System Safety, 1994, 43(3): 325-330.
- [5] Jun Wang. A System Dynamics Simulation Model for a Four-rank Military Workforce. Land Operations Division, Defence Science and Technology Organisation, 2006, DSTO-TR-2037.
- [6] 贾仁安,伍福明,徐南孙. SD 流率基本入树建模法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(6):90-95.
- [7] 贾仁安,胡玲,丁荣华,等. 系统动力学简化流率基本入树模型及应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(10):137-144.