

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.07.063

人为因素在飞机级功能危险性评估中的考虑

宋杨*

上海飞机设计研究院, 上海 201210

摘 要: 在飞机设计过程中考虑人为因素是非常重要的。提出了将人为因素作为一种飞机级安全性需求引入到飞机级系统安全性评估中的方法。首先, 通过研究飞行机组的监控失误, 形成相应的失效概率, 放入公共数据文件中进行考虑; 其次, 将人为因素的影响在飞机级功能危险性分析中进行考虑, 明确人为因素对功能失效所产生的影响; 最后形成引入人为因素影响后的功能危险性评估表。

关键词: 人为因素; 功能危险性评估; 飞机设计; 系统安全性; 安全性需求

中图分类号: V221 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 07-0063-05

人为因素的考虑是飞机设计中重要的一环。通过对历史运营事件的分析, 总体而言, 造成飞机运营事件约 70% 的原因与机组人员的人为因素有关^[1]。从以往的事件来看, 事件越是严重, 人为因素的影响越为主要。现代飞机设计中, 设计者越来越重视对人为因素的考虑^[2]。目前, 飞机设计中考虑人为因素较多的是在驾驶舱、客舱人机界面、维修性和生产性等方面^[3-5]。在系统安全性设计中还少有涉及, 一般在飞机级系统安全性分析中, 并未考虑驾驶人员可靠性的影响。

为了保障民用飞机的运营安全, 不仅需要在维修工程中对人为因素加以考虑^[5], 还需要在民用飞机的安全性设计^[6]中对人为因素加以考虑。为了提升飞机系统的安全能力, 系统安全性评估亟须纳入人为因素方面的影响。

在系统安全性设计中, 飞机级功能危险性分析是确定飞机设计安全性需求的重要环节。通过将人为因素在飞机级功能危险性评估中的引入, 在失效场景中量化地考虑飞机机组的人为因素, 完成系统安全性指标的分配和失效概率的分析, 最终可以形成包含人为因素影响的系统设计安全性需求。

1 安全性评估流程

工业标准 SAE ARP4754A 系统性提出了民用飞机需求

的确认 (Validation) 与设计实现的验证 (Verification) 过程, 即双“V”过程, 并结合安全性评估方法和活动, 从双“V”的角度, 阐述了安全性和系统研制过程之间的相互关系^[7]。

“双 V”的左半边主要是为了从上到下进行指标和功能的分配, 右半边则是为了对设计进行从下到上的验证。安全性评估过程主要内容包括: 飞机级功能危险性评估 (Aircraft Function Hazard Assessment, AFHA)、初步飞机安全性评估 (Preliminary Aircraft Safety Assessment, PASA)、系统功能危险性评估 (System Function Hazard Assessment, SFHA)、初步系统安全性评估 (Preliminary System Safety Assessment, PSSA)、系统安全性评估 (System Safety Assessment, SSA) 以及飞机安全性评估 (Aircraft Safety Assessment, ASA) 等。

在飞机研制周期的初始, 根据飞机功能定义文件, 要进行一次 AFHA 分析。AFHA 通过系统综合地检查飞机的各种功能, 在特定的飞行阶段下, 对相关的应用场景进行功能失效分析, 识别功能的失效状态, 并根据失效影响的严重程度对其进行分类。AFHA 是飞机研发阶段安全性工作最重要的一项工作。

如图 1 所示, 在确定飞机要求的阶段, 飞机主制造商需要捕获飞机设计的顶层需求, 这些顶层需求可以分为飞机约束和飞机功能。与此同时, 需要编制安全性公共数据文件。

收稿日期: 2017-05-10; 退修日期: 2017-05-31; 录用日期: 2017-06-15

* 通讯作者. Tel.: 027-20866355 E-mail: songyang@comac.cc

引用格式: SONG Yang. The consideration of human factors in aircraft functional hazard assessment [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (07): 63-67. 宋杨. 人为因素在飞机级功能危险性评估中的考虑 [J]. 航空科学技术, 2017, 28 (07): 63-67.

安全性公共数据文件规定了进行飞机级和系统级安全性可靠性评估时所用到的安全性可靠性定义、原理、应用条件和数据等内容,用于指导和支持飞机系统安全性工作。安全性评估会从飞机机队的运营场景入手,应用情景评估的方法,在 AFHA 中,对运营风险开展工程分析,形成对风险的评估等级,并将评估等级转化为安全性需求,形成安全需求文件 (Safety Requirement Document, SRD),并贯彻到飞机的系统设计中。最后通过飞机系统一定的架构设计,达到系统的研制保障等级,进而提升飞机级的安全性水平。

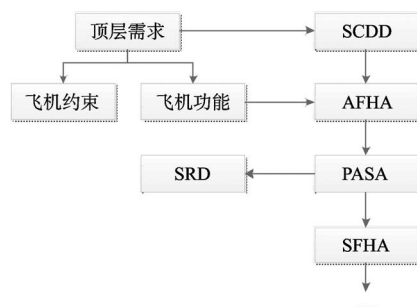


图 1 确定飞机设计需求阶段的安全性评估流程

Fig.1 Safety assessment process to obtain aircraft design requirement

2 飞行机组的人为因素分析

在飞机的实际运营中,许多飞行事故是由于飞行机组的人为因素问题对飞行状态监控和应对方面出现失误而导致的。飞机机组对飞机的操作是基于飞行状况的情景评估 (scenario assessment) 来实施的。情景评估是通过监控和应对来发现、分析问题的过程。高质量的情景评估是源于对危害飞行安全的事件做出恰当的质疑。美国国家运输安全委员会的一份报告发现,在飞行的进近着陆阶段对飞行状态的监控和应对失误率高达 80%。虽然在飞行的进近和着陆阶段,飞行机组高度紧张,集中精力监控和应对飞行,但失误率并不因为精力分配的倾斜而降低。这表明,对飞行状态监控是否有效,取决于飞行员是否对他们的监控对象有准确的认知和理解^[8]。

飞行机组失误可以分解为飞行员失误和机组另一成员的监控失效同时作用产生。对于飞行员而言,因为人对于复杂系统的影响与人的综合能力以及系统复杂度呈现一定相关性。这种人的失误率需要结合系统复杂度来考虑。而在标准机组中,机组中一方对于另一方的监控失误率却不依赖系统变化而变化。

为了更好地在系统设计中定量化地考虑人为因素的影

响,通过将人为因素的影响量化为在标准机组下飞行员监控飞行的平均失误率的方式是一种可行的途径。这样在捕获飞机顶层需求时,可以先将飞行员监控飞行的平均失误率作为一种重要的假设,放入安全性公共数据文件中。这样,在飞机功能危险性分析中,当开展某一功能的失效场景分析时,可以通过公共数据文件 (Common Data Document, CDD) 中的假设,明确人为因素的作用,计算人为因素的影响,以便更好地形成系统安全性需求。

在民用飞机的运营中,一般使用双人机组,包含一个主驾驶、一个副驾驶。两个驾驶员在驾驶飞机的过程中,可以相互监督。在一个飞行员在飞机驾驶出现失误时,另一个驾驶员有一定概率纠正该飞行员的失误。双人机组出现失误,一般为一个飞行员出现失误,另一个飞行员未能发现该失误。假设单个飞行员在飞行中出错的概率为 $P(A)$,另外一个飞行员对失误飞行员的失误识别率为 $P(B)$,则整个双人飞行机组出现失误的概率 P_F 如式 (1) 所示:

$$P_F = P(A | \bar{B}) = P(A) (1 - P(B)) \quad (1)$$

单个飞行员在飞行过程中出错的概率,取决于飞行员的监控技能和应变技能。在人为因素的安全性设计中,应考虑所研发机型的目标航空公司的飞行员平均水平。在图 2 所示的确定设计要求阶段的安全性评估流程中,飞行员飞行中出错的概率,应作为对飞行员平均水平的量化指标,在需求捕获的过程中着重研究。

针对飞行机组在飞行中的监控和应对,美国国家航空航天局 (NASA) 和佐治亚理工学院的研究者开展了专项模拟机案例研究。研究组聘请波音 747-400 的飞行员执行模拟飞行计划。每套双人制机组由一个被研究飞行员和一个主导飞行员组成。在案例试验中,主导飞行员主动产生失误,研究人员研究了被研究对象对于主导飞行员错误的识别率^[9]。

由表 1 可知,当研究飞行员为主驾驶,被研究飞行员作为副驾驶时,虽然副驾驶在面对难度较低的低风险威胁的失误识别率达到了 90%,但作为副驾驶的被研究飞行员在面对高风险的威胁时,出现了最低的失误识别率 35%。而当被研究飞行员作为主驾驶,飞行员为副驾驶时,情况则发生了较大的改观。作为主驾驶的被研究飞行员能更多地发现副驾驶所出现的失误,并进行纠正。主驾驶员对于副驾驶产生的高风险的威胁识别率达到了 60%,对于低风险威胁识别率则达到了 70%。综合这两种情况的分析,如果不考虑被研究对象是主驾驶还是副驾驶,也不考虑那些失误所造成的安全性威胁大小,在一个两人飞行机组中,一个飞行员

对另外一个飞行员所产生的失误,其总体的失误识别率大约在 62%。

表 1 被研究飞行员对主导飞行员的失误识别率
Table 1 Mistake identification rate of the pilot be researched while another pilot was making mistake

被研究飞行员的角色	高风险的威胁	低风险的威胁
副驾驶	35%	90%
主驾驶	60%	70%

3 引入人为因素的功能危险性评估

3.1 经典的功能危险性评估

功能危险性评估 (FHA) 是针对功能进行的系统而全面的检查,以确定这些功能的失效状态并按其严重性进行分类的过程,是新机型或改进机型设计过程中安全性评估的第一步。FHA 通常在两个级别上进行,分别为 AFHA 和 SFHA。

AFHA 是在飞机研制开始时对飞机的基本功能进行的高层次顶层的定性评估。AFHA 将飞机整机视为研究对象,识别飞机在不同飞行阶段可能发生的影响飞机持续、安全飞行的功能失效,并将这些功能失效进行分类,建立飞机必须满足的安全性需求。AFHA 的目的是识别飞机级的功能并考虑功能失效和功能异常两种情况时,建立飞机 / 系统的失效状态清单并对失效影响进行分类。FHA 应识别每个飞行阶段的失效状态的影响。

AFHA 应按照如下过程进行评估工作^[10]:

- (1) 确定与分析层次相关的所有功能 (包括内部功能和交互功能);
- (2) 确定并说明与这些功能相关的失效状态,考虑在正常和恶化环境下的单一和多重失效;
- (3) 确定失效状态的影响;
- (4) 根据失效状态对飞机或人员的影响对其进行分类 (包括灾难性的、危险的、较大的、轻微的和没有安全性影响的);
- (5) 给出用于证明失效状态影响分类所要求的支撑材料;
- (6) 提出用于验证失效状态满足安全性需求的符合性验证方法。

3.2 对机组人为因素的考虑

人为因素的引入,主要为考虑在失效场景下飞行机组的监控和应对的情景。考虑人为因素后,原来固有的功能失效事件和机组监控应对共同触发顶事件。功能失效事件和

机组监控应对存在两种关系,一种是或门关系,一种是与门关系,分别如图 2 (a) 和图 2 (b) 所示。

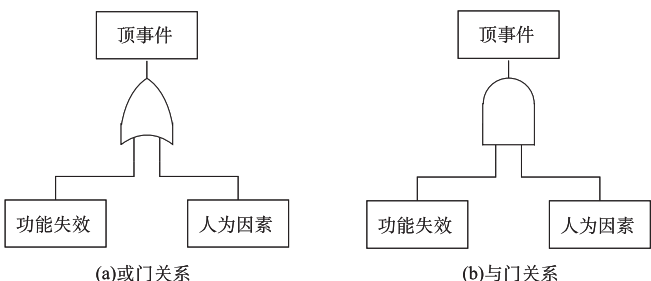


图 2 功能失效与人为因素的关系

Fig.2 Relationship between functional failure and human factor

3.2.1 与门关系

当功能失效和人为因素的关系为与门关系时,功能失效和人为因素可以构成互补关系。对于某些失效状态而言,功能的失效可以通过正确的机组监控和操作,进行弥补和修正。但从另一方面来说,如果机组监控和操作不当,人为因素的影响也可以造成功能失效的升级。

例如,“地面阶段,飞机减速功能完全丧失”这一条失效状态,在地面阶段,飞机以一定速度滑行,刹车功能和备份刹车完全丧失,依赖摩擦阻力减速。一般而言,该失效状态为Ⅲ类事件。若机组通过监控及时发现刹车功能丧失,并通过令飞机转向,在地面跑道曲线行驶,可以通过摩擦力逐步将飞机减速。这种情况下,该失效状态只是增加了机组人员的操作负担,其定级约为Ⅳ类。

但是如果飞行员未能及时监控发现,或者飞行员未能正确驾驶,可能会使飞机以滑行速度撞击航站楼或其他地面设施,产生损失和造成人员伤亡。在这种情况下,该失效状态不仅增加了机组人员的负担,而且会增加人员伤亡的风险。在最保守假设下,该失效状态的定级可以定为Ⅱ类。

由失效状态“地面阶段,飞机减速功能完全丧失”的示例表明,在与门关系下,人为因素可以改变原有功能失效的影响等级,会对原有的功能失效影响分析产生较大的影响。

3.2.2 或门关系

当功能失效和人为因素的关系为或门关系时,驾驶机组的监控和操作并不能对飞机功能失效产生明显的影响。当飞机功能发生失效时,驾驶机组通过正确的监控和恰当的操作,只能轻微的减少事件发生后的损失。

例如,“所有电源供电功能丧失”这一失效状态,当功能失效发生后,飞机机组无法控制飞机,无论人为因素的影响是多大,该失效状态的功能危险性影响等级均为Ⅰ类。

3.3 改进的功能危险性评估表

功能危险性评估的结果最终形成具体的功能危险性评估表。将人为因素引入 AFHA 之后,相应的功能危险性评估表也需要做出调整。

常见的功能危险性评估表如表 2 所示。

表 2 功能危险性评估表
Table 2 Functional hazard assessment table

功能	失效状态	飞行阶段	对飞机或人员的影响	影响等级	支撑材料	验证方法
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

(1) 功能:指要进行分析的功能。

(2) 失效状态:对每个假设的失效状态做简要说明。通常对每个确定功能,从功能全部丧失、功能部分丧失、其他系统的故障及其他外部事件等危险根源进行考虑。

(3) 飞行阶段:功能失效时所处的工作状态或飞行阶段。若失效状态的影响由于飞行阶段不同而不同,必须按不同飞行阶段分别填写。

(4) 危险对飞机或人员的影响。危险可能使飞机和人员遭受到的有害结果。

(5) 影响等级:包括灾难性的、危险的、较大的、轻微的及无安全影响的。

(6) 影响等级支撑材料:如飞行试验、地面试验、仿真模拟等。

(7) 验证方法:如定性的或定量的验证方法。

在引入人为因素的考虑以后,针对 AFHA 原来的“失效状态”一栏后面可以增加一栏“机组监控和应对操作”(8)这一栏,如表 3 所示。

表 3 考虑人为因素的功能危险性评估表
Table 3 Functional hazard assessment table with human factor considered

功能	失效状态	机组监控和应对操作	飞行阶段	危险对飞机或人员的影响	影响等级	支撑材料	验证方法
(1)	(2)	(8)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

在增加了“机组监控和应对操作”之后,针对不同的飞行阶段,当功能发生不同的失效时,需要针对飞机机组不同的响应,得出不同的安全性影响等级,给出相应的影响等级支撑材料和验证方法。

4 讨论

驾驶机组的可靠性可以分解为驾驶员的可靠性和驾驶

机组的可靠性两部分。本文初步分析了驾驶机组对于事件的人因问题对于飞机安全性事件的影响,尝试将人的可靠性问题进行量化。在实际的系统设计中,人的可靠性与系统的复杂度相关。驾驶人员对于高复杂度的系统的操作较之与简单系统更加容易出错,这种“人-系统”的人为因素影响需要在 PASA 环节中进一步研究。在系统安全性设计中,PASA 是飞机级系统安全性需求分配至系统级的重要过程,可以结合系统复杂度差异,对这种“人-系统”的人为因素影响进行进一步分配和细化研究。同时,可以针对不同系统开展人为因素的操作试验,收集人为因素数据,充实到 CCD 中为 PASA 的研究提供数据支撑。

5 结论

本文提出一种将人为因素的影响量化为飞行员监控飞行的平均失误率的方式,在系统设计中引入对标准机组监控人为因素影响的考虑。一方面,在捕获飞机顶层需求时,将飞行员监控飞行的平均失误率作为一种重要假设,放入安全性公共数据文件中,丰富人为因素的支撑材料;另一方面,在飞机级功能危险性分析中,针对某一功能的失效场景分析时,考虑机组人为因素后,机组 AFHA 中的失效场景将存在与门或者或门的人为因素的影响。通过这两方面的工作,将可以通过公共数据文件中的假设,为计算人为因素的影响提供基础。 **AST**

参考文献

- [1] 吴强,王瑾. 飞行事故中人为因素的研究 [J]. 航空维修与工程, 2009 (1): 67-70.
WU Qiang, WANG Jin. The study on artificial factor in flight accident [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2009 (1): 67-70. (in Chinese)
- [2] 许为,陈勇. 人机工效学在民用客机研发中应用的新进展及建议 [J]. 航空科学技术, 2012 (6): 18-21.
XU Wei, CHEN Yong. Application of human factors in developing civil aircraft and recommendation [J]. Aeronautical Science & Technology, 2012 (6): 18-21. (in Chinese)
- [3] 何红妮,王钊,孙海军. 电子操作员显控台人机工效设计方法 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (01): 53-56.
HE Hongni, WANG Zhao, SUN Haijun. The ergonomic design methods for operator's display console [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (01): 53-56. (in Chinese)
- [4] 黄建新,边亚琴,张志峰. 装备设计中人为因素研究 [J]. 航空

- 维修与工程, 2006 (6): 44-46.
- HUANG Jianxin, BIAN Yaqin, ZHANG Zhifeng. The human factor research in material designing [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2006 (6): 44-46. (in Chinese)
- [5] 于辉, 王占海, 潘义全. 浅析飞机维修工程中的人为因素 [J]. 航空维修与工程, 2012 (6): 69-71.
- YU Hui, WANG Zhanhai, PAN Yiquan. Analysis on human factors in aircraft maintenance engineering [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2012 (6): 69-71. (in Chinese)
- [6] United States Department of Defense. MIL-STD-1472F Human engineering [S]. Military Standard, 1999.
- [7] SAE ARP4754. A guidelines for development of civil aircraft and system [S]. The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space, 2010.
- [8] Orasanu J. Situation awareness: its role in flight crew decision making [EB/OL]. http://olias.arc.nasa.gov/publications/OSU_Orasanu/AvPs-SA.txt.html.
- [9] Shari S K. Aircraft safety: accident investigations, analyses & applications[M]. McGraw-Hill Company, 1996.
- [10] 郭博智, 王敏芹, 阮宏泽. 民用飞机安全性设计与验证技术 [M]. 航空工业出版社, 2015.
- GUO Bozhi, WANG Minqin, RUAN Hongze. Civil aircraft safety design and certification technology [M]. Aviation Industry Press, 2015. (in Chinese)

作者简介

宋杨 (1987—) 男, 博士, 工程师。主要研究方向: 飞机安全性、经济性设计。

Tel: 027-20866355

E-mail: songyang@comac.cc

The Consideration of Human Factors in Aircraft Functional Hazard Assessment

SONG Yang*

Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China

Abstract: The consideration of human effect is an important part of aircraft design. The method which is taking human effect into consideration as an aircraft safety requirement in the aircraft level functional hazard assessment was proposed in this paper. First, took the probability of the human effect failure into the common data document, then classified the human effect failure in the functional failure scenario by considering the human effect in the aircraft functional hazard assessment. Finally, obtained the modified functional hazard assessment table with human effect considered.

Key Words: human factor; functional hazard assessment; aircraft design; system safety; safety requirement

Received: 2017-05-10; Revised: 2017-05-31; Accepted: 2017-06-15

*Corresponding author. Tel.: 027-20866355 E-mail: songyang@comac.cc