

民用飞机持续适航体系有效性 评估方法研究

于海生*

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 民用飞机主制造商在飞机交付运营前需建立持续适航体系并对体系有效性进行定期评估是适航规章的强制要求,以保证飞机和整个机队的持续运行安全。对持续适航体系有效性进行定期评估同时也是民用飞机主制造商自我完善持续适航体系,确保体系持续有效运行的必要手段。现阶段,国内的持续适航体系的建设还处于初步阶段,相关要求和准则也在逐步完善中。针对持续适航体系的有效性评估大多只采用定性的评估,评估结果的客观性和科学性难以保证。通过持续适航体系有效性内涵及其表现特征的分析,将体系运行有效性划分为层级指标,采用层次分析法通过特征矩阵计算确定各指标的权重,然后通过一致性检验加以验证,为飞机主制造商的持续适航体系有效性评估提供更加客观、科学的评估方法。

关键词: 民用飞机;持续适航;体系有效性;层次分析法

中图分类号: V37

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用飞机主制造商需要依据《民航航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR-21)和《型号合格证持有人持续适航体系的要求》(AC-21-AA-2013-19)建立持续适航体系,通过对不利于机队持续适航的信息进行全面的收集、筛选后进行评估风险,并采取必要的措施,从而对飞机和整个机队实施全面的持续安全管理,以履行规章要求的持续适航责任,保证飞机的持续运行安全^[1-2]。这一过程需要通过持续适航体系实际的有效运行才能够得以保证。

持续适航体系运行工作主要包括:针对可能影响飞机安全的持续适航事件进行全面收集并报告、对持续适航事件进行风险评估和制定发布改正改进措施等环节。针对持续适航体系运行每一环节,均需发布相应的程序文件来保证体系得以有效运行。然而在体系运行过程中会不断地出现各种问题,发生在体系运行的各个环节上^[3]。虽然我们建立了

持续适航体系,并且已经开始运行,但却缺少一套能科学、合理评估体系运行有效性的评估方法,来实现对体系运行状态的持续监测与及时纠正,以确保体系运行过程始终符合局方规章和公司相关持续适航程序的要求。本文分析了持续适航体系运行有效性的表现特征,通过层次分析法建立了持续适航体系运行有效性的评估模型,可以用于对持续适航体系的有效性进行评判。

1 持续适航体系有效性内涵

有效性是指完成策划的活动和达到策划结果的程度^[4]。根据有效性的定义、适航规章及相关 AC 对持续适航体系的要求,我们可以把持续适航体系有效性定义为:运输类飞机型号合格证(TC)持证人根据适航要求建立持续适航体系后,通过实际的运行使体系能够达到持续适航安全性目标的程度,包括与国家主管部门要求的符合程度等。

根据以上的定义,持续适航体系有效性主要体

* 通信作者. E-mail: yuhaisheng@comac.cc

引用格式: 于海生. 民用飞机持续适航体系有效性评估方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(3):16-21. YU H S. Research on effectiveness evaluation method of continuous airworthiness system for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2022(3):16-21(in Chinese).

现在两个方面:

1) 持续适航体系本身的有效性,包括体系的组织架构、人员构成、程序文件、职责和资源分配等,与飞机持续适航相关的所有要素应完整并能够完美的融合在一起,可操作性强;

2) 持续适航体系运行的有效性,即持续适航体系开展的持续适航管理活动符合 AC-21-AA-2013-19 所规定的要求,通过对影响机队安全信息的收集、经过风险评估后制定必要的改正/改进措施,并保证及时落实,在保证体系可靠高效运行的同时,还能够通过自我监管、自我改进机制,及时发现体系的不足,及时改正改进,逐步提升整个体系的完善性。

2 持续适航体系运行有效性的表现特征

2.1 符合性指标 A_1

符合性是指持续适航体系文件以及持续适航活动开展对适航要求的符合性,是持续适航体系运行有效性的基础和前提。它主要表现在:

1) 适航规则要素的符合程度。CAAC、FAA 和 EASA 的 21 部规章对型号合格证持有人的持续适航责任有明确的要求。国内航空企业持续适航体系是基于 AC-21-AA-2013-19 规则而建立,因而规则的各项要素必须得到认真的贯彻执行;

2) 持续运行安全计划的符合程度。型号合格证持有人和适航当局通过签署持续运行安全计划(Continued Operational Safe Program,简称 COSP)及其工作协议(Working Agreement),及时有效的完成上述工作,将风险控制在可接受的安全水平,而其持续适航体系则是完成协议内容的工作基础之一;

3) 持续适航体系要素的贯彻力度。支撑持续适航体系体系运行的所有程序文件、运行指南文件和管理手册等规则,都能够得到强有力的贯彻执行;

4) 持续适航体系文件的可操作性。体系文件要有可操作性,才能便于有效的贯彻实施,否则,难以保证体系要求得到有效贯彻。

2.2 目标性指标 A_2

目标性指的是主制造商建立和运行持续适航体系所要达到的最终目的。持续适航体系运行的最终目标是保持飞机的持续适航状态和整个机队的安全运行。往下分解得到具体的子目标有:

1) 事件收集的全面性和及时性。所有影响或可能影响飞机安全的事件均按程序文件要求在规定

时间内进行了流转,未出现漏报事件或未按时间要求报告事件;

2) 工程调查及风险评估的有效开展。对需要工程调查的事件及时地组织调查组进行调查,调查结果及时反馈;所有事件都及时地进行了风险评估,并且风险评估的结果得到技术委员会的评审;

3) 改正/改进措施方案的有效制定及发布。针对所有经风险评估确认需采取措施的事件,都制定了改正/改进措施方案,并及时发布;

4) 措施方案的管控及贯彻执行。针对所有制定并发布了改正/改进措施的事件进行了有效的管控,保证措施得到贯彻执行,机队的风险得到有效控制。

2.3 契合性指标 A_3

契合性是指持续适航体系的组织架构、职责分工、人员配备等与主制造商(TC 持证人)自身的契合度。体系的契合性体现在以下几个方面:

1) 组织架构完整。持续适航体系应设置决策层、管理和监督层以及操作层,以保证体系的有效运行。决策层包括持续适航委员会和持续适航技术委员会分别对管理和技术问题进行决策,持续适航委员会办公室作为管理和监督层对持续适航的日常事务进行监督管理。实际的操作层包括持续适航体系主管、事件主管和专业主管;

2) 职责和分工明确。保证体系的有效运行需要明确各层级人员的持续适航职责与分工,使员工各司其职、各尽其责,保证体系运转流畅、高效;

3) 体系人员的配备数量。随着机队数量的增多,会有大量持续适航问题需要处理,包括信息收集、风险评估等工作,以及体系运行的日常管理,这需要配置足够的人员,否则会直接影响持续适航体系的运行质量和效率;

4) 体系人员适任。从事持续适航的相关工作既要有专业领域的设计基础知识及相关工程经验,也要具有与持续适航事件风险管理相适应的管理知识,只有符合要求的人员才能确保相关的持续适航工作的顺利完成。

2.4 文化性指标 A_4

文化性指的是整个企业的持续适航习惯的定性。通过持续适航体系的建立和运行,使员工在共同的持续适航准则下开展持续适航工作,形成一致的持续适航意识和行为习惯,逐步确立共同的持续

适航理念^[5]。体系文化性体现在以下几个方面：

1) 核心领导层的关注度。只有在核心领导层的足够重视和参与下,持续适航体系的工作才能够得到有效的开展;

2) 员工的持续适航意识和参与。员工只有具备良好的持续适航意识并积极地参与,才能保证持续适航体系健康有效的运行;

3) 持续适航相关的培训。通过开展定期的培训,提高持续适航事件的处理具有专业性强的特点,参与只有通过持续不断培训,才能提升员工的持续适航综合素质;

4) 持续适航环境。有相关的持续适航管理平台等工具可以高效处理持续适航事件的流转,并能够记录归档,可追溯性强。

3 持续适航体系有效性评估模型的建立

3.1 层次分析法

层次分析法(简称 AHP),是由匹兹堡大学萨蒂教授应用网络系统理论和多目标综合评估法,提出的一种利用数学模型对目标问题进行定性和定量分析、系统层次化分析相结合的决策分析方法^[6-7]。该方法的优点是提出了层次本身,将复杂的决策问题通过较少的定量信息进行数学化。十分适合于对决策结果难于通过计量的方式进行评估的情况。其特点是对复杂决策问题的内在因素相互关系进行分析,然后通过各因素之间的联系进行层次划分,分解

得到关键的定量信息,并将这些定量信息作为因子通过数学模型表达出问题决策的思维过程,计算各个层次指标的权重并排序,为多层次、多准则和多因素的复杂决策问题提供简单有效的分析方法。

利用层次分析法解决复杂决策问题的一般步骤如下:

- 1) 分析影响问题的关键因素并进行层次划分;
- 2) 建立层次结构评估模型;
- 3) 根据评估模型构造判断矩阵;
- 4) 计算各层次指标的权重并进行一致性检验^[8]。

3.2 构建体系有效性评估模型

体系有效性评估模型的基础其实就是有效性评估指标。在确定评估指标时,应覆盖《型号合格证持有人持续适航体系的要求》(AC-21-AA-2013-19)的具体要求,能够体现持续适航体系有效性的关键环节和重点要素,各级评估指标应相互独立避免有重合的地方,同时要尽可能量化表述,并具有可操作性。

按照层次分析法的思路构建持续适航体系有效性的评估模型,首先确定总目标层为持续适航体系有效性(E),然后将目标层的主要表现特征:符合性、目标性、契合性和文化性作为准则层(A_i),最后将主要表现特征向下分解细化得到具体的有效性指标,即为指标层(B_i)。按目标层、准则层和指标层构建的持续适航体系有效性层次结构模型如图 1 所示。

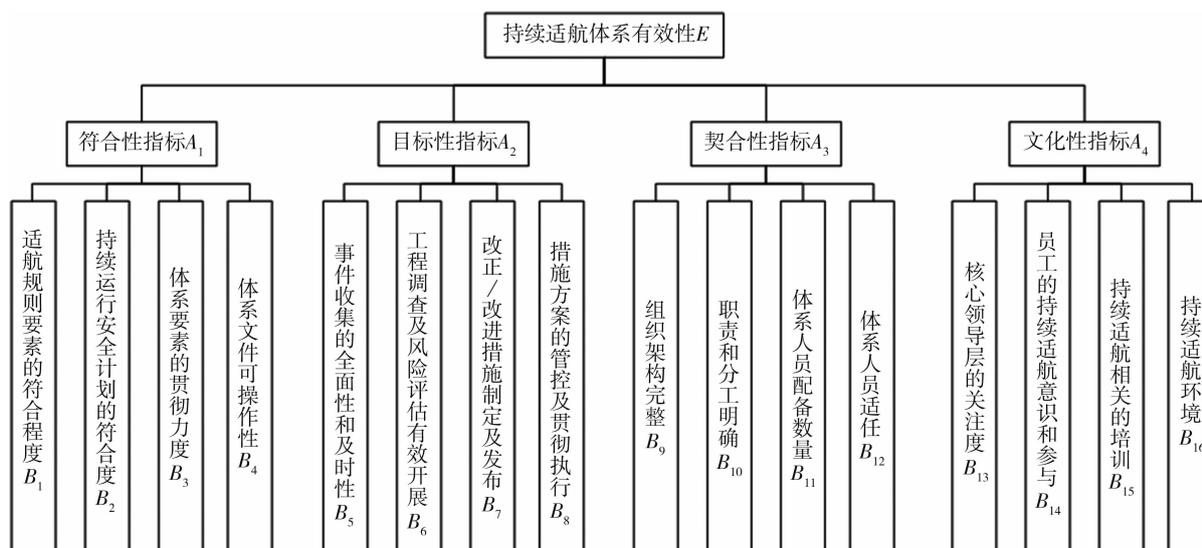


图 1 层次结构模型

4 评估指标权重获取

4.1 判断矩阵建立

依据判断尺度(表1),通过评审专家对各评价指标及相关要素进行相互比较并进行打分,根据打分结果建立层次分析法的判断矩阵。

表1 判断尺度表

判断尺度	定义
1	对E而言, A_i 和 A_j 同等重要
3	对E而言, A_i 比 A_j 稍为重要
5	对E而言, A_i 比 A_j 重要
7	对E而言, A_i 比 A_j 重要得多
9	对E而言, A_i 比 A_j 绝对重要
2,4,6,8 倒数	重要程度介于上述两相邻判断尺度之间 A_i 不如 A_j 重要等,用上述的倒数表示

判断矩阵 $E-A_i$

$$\begin{bmatrix} E & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & 1 & 1 & 5 & 5 \\ A_2 & 1 & 1 & 5 & 5 \\ A_3 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 \\ A_4 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 A_1-B_i

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\ B_1 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ B_2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ B_3 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ B_4 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 A_2-B_i

$$\begin{bmatrix} A_2 & B_5 & B_6 & B_7 & B_8 \\ B_5 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ B_6 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ B_7 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ B_8 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 A_3-B_i

$$\begin{bmatrix} A_3 & B_9 & B_{10} & B_{11} & B_{12} \\ B_9 & 1 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ B_{10} & 2 & 1 & 2 & 1 \\ B_{11} & 1 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ B_{12} & 2 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

判断矩阵 A_4-B_i

$$\begin{bmatrix} A_4 & B_{13} & B_{14} & B_{15} & B_{16} \\ B_{13} & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \\ B_{14} & 2 & 1 & 1 & 2 \\ B_{15} & 2 & 1 & 1 & 2 \\ B_{16} & 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2 权重计算及一致性检验

根据排序权向量的特征根法,计算准则层和指标层各评估指标的权重^[9],如表2所示。

表2 各评估指标权重

判断矩阵	权重			
E 准则层 A_1-A_4	0.416 6	0.416 6	0.083 4	0.083 4
A_1 指标层 B_1-B_4	0.166 7	0.166 7	0.333 3	0.333 3
A_2 指标层 B_5-B_8	0.166 7	0.166 7	0.333 3	0.333 3
A_3 指标层 B_9-B_{12}	0.166 7	0.333 3	0.166 7	0.333 3
A_4 指标层 $B_{13}-B_{16}$	0.166 7	0.333 3	0.333 3	0.166 7

根据表1,准则层和指标层相乘可以得到各指标层各评估指标的综合权重为:

$$W = [B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}, B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{15}, B_{16}] = [0.069 5, 0.069 5, 0.138 8, 0.138 8, 0.069 5, 0.069 5, 0.138 8, 0.138 8, 0.013 9, 0.027 8, 0.013 9, 0.027 8, 0.013 9, 0.027 8, 0.013 9, 0.027 8, 0.013 9]$$

由于人们对事物本身认识的多样性,在构造判断矩阵时并不一定达到完全的一致性。因此,需要对判断矩阵及权重计算的一致性进行检验。当n阶判断矩阵A的最大特征值 $\lambda_{max} = n$ 时,A为完全一致性矩阵。用 $\lambda_{max} - n$ 与 $n-1$ 的比值作为一致性指标CI,当 $CI < 0.1$ 时,认为是比较合理的。在对各层次各指标进行排序时,需要对一致性比例 $CR = CI/RI$ 进行检验。在 $CR < 0.1$ 的情况下,表明判断矩阵的一致性是比较合理、可接受的。其中,RI是平均随机一致性指标,当 $n = 4$ 时, $RI = 0.89$ 。判断矩阵相关的一致性检验指标见表3。根据计算得到的CI和CR的数值均小于0.1,说明所构建的各级判断矩阵的一致性满足要求,因此根据判断矩阵所计算的各层级指标的权重是可信的。

表3 判断矩阵一致性检验

	n	λ_{max}	RI	CI	CR
E	4	4.000 1	0.89	0.000 0	0.000 0
A_1	4	4.000 1	0.89	0.000 0	0.000 0
A_2	4	4.000 1	0.89	0.000 0	0.000 0
A_3	4	4.000 1	0.89	0.000 0	0.000 0
A_4	4	4.000 1	0.89	0.000 0	0.000 0

5 评估评分标准及结论

5.1 评估评分标准

为了比较定量化的评估持续适航体系有效性,根据持续适航体系的运行实际情况对有效性评估子项进行打分。评分标准可设定为:完全符合 100 分;较好符合 85 分;基本符合 70 分;不符合 50 分;完全不符合 35 分。评分结果由各个评审人员按以上评分标准上酌情进行加减分,最终的评分根据所有的评审人员的分值进行均值计算得出^[10]。而实际得分是用各评估子项的权重和评分相乘计算得出。根

据实际得分的多少,把持续适航体系有效性评估结果设定为 A、B、C、D 四个等级,体系有效性综合得分及评评估结论对应关系如表 4 所示。

表 4 持续适航体系有效性评估结论

综合得分	[100-90]	(90-75]	(75-60]	(60-0]
有效性评估结论	A 很好	B 较好	C 一般	D 不合格

5.2 持续适航体系有效性评估单

根据持续适航体系有效性评估模型、评分标准及各子项权重建立持续适航体系有效性评估单,见表 5。

表 5 持续适航体系有效性评估单

项目	评价子项	评价标准	评分	权重	实际得分
符合性	适航规则要素的符合度	体系文件结构合理,对规则所有相关要求描述,并提出相应的管理要求。			
	持续运行安全计划的符合度	体系文件满足 COSP 的要求,及时有效的完成相关工作。			
	体系要素的贯彻力度	支撑持续适航体系运行的所有程序文件、运行指南文件和管理手册等规则,都能够得到强有力的贯彻执行。			
	体系文件可操作性	体系文件应符合体系的实际运行情况,操作简单明了且顺畅,便于解决实际的持续适航问题。			
目标性	事件收集的全面性和及时性	所有影响或可能影响飞机安全的事件均按程序文件要求在规定的时间内进行了流转,未出现漏报事件或未按时间要求报告事件。			
	工程调查及风险评估的有效开展	对原因不明的事件及时地组织调查组进行调查,调查结果及时反馈;所有事件都及时地进行了风险评估,并且风险评估的结果得到持续适航技术委员会的评审。			
	改正/改进措施方案的有效制定及发布	针对所有经风险评估确认需采取措施的事件,都制定了改正/改进措施方案,并发布。			
	措施方案的管控及贯彻执行	对措施方案进行了有效的管控,可追溯性强,并保证机队在规定的时间内得到贯彻执行。			
契合性	组织架构完整	持续适航体系组织架构合理,涵盖决策层、管理和监督层以及操作层,职责分工合理且符合实际。			
	职责和分工明确	持续适航相关人员职责和分工在管理手册和程序文件中明确,职责划分清晰明确,且覆盖所有持续适航工作要素。			
	体系人员配备数量	持续适航主要岗位人员配备能满足持续适航的各项工作安排,且人员管理幅度适宜。			
	体系人员适任	持续适航主要岗位人员满足持续适航管理手册、程序、指南中的人员资质要求。			
文化性	核心领导层的关注度	最高管理层熟悉持续适航体系并高度重视持续适航的相关工作,能够协调资源为持续适航体系运行给予大力支持。			
	员工的持续适航意识和参与	从事持续适航的工作人员应具备良好的持续适航意识,持续适航活动中积极主动,积极发现问题并参与到体系优化和自我完善。			
	持续适航相关的培训	培训教育机制健全,新聘(转岗)人员职责熟悉、日常培训、持续适航活动等正常开展的相关培训。			
	持续适航环境	团队具有浓厚的持续适航氛围,持续适航相关的平台工具简便实用。			
	有效性评价结论为:	实际总得分:			

6 结论

1) 通过对持续适航体系有效性相关因素的分析归纳,利用层次分析法建立了适用于持续适航体系有效性评估的层次结构模型;

2) 通过专家对各要素对比打分,建立特征矩阵计算各指标的权重,并通过一致性检验;

3) 可用于局方监管部门对主制造商持续适航体系的有效性进行外部审核以及主制造商内部质量监控部门对自身持续;

4) 由于目前国内持续适航体系的建立还处于刚起步并逐步完善的阶段,对于持续适航体系有效性的评估指标可能还不够完善,后续还需要做进一步工作进行优化及进一步细化。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. 民航航空产品和零部件合格审定的规定:CCAR-21[S]. 北京:中国民用航空局,1990.
- [2] 中国民用航空局. 型号合格证持有人持续适航体系的要求:AC-21-AA-2013-19[S]. 北京:中国民用航空局,2013.

- [3] 于海生. 持续适航体系有效性管理方法研究[J], 科技视界, 2017 (4): 28-32.
- [4] 国际标准化组织. 国际质量管理体系: ISO9000:2000 [S]. 日内瓦:国际标准化组织, 2000.
- [5] 朱清明. 基于ISM规则的安全文化建设[J]. 世界海运, 2006, 29(2): 25-27; 30.
- [6] 徐国祥. 统计预测与决策[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2005.
- [7] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法在安全科学研究中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(2): 69-73.
- [8] 林志忠. 航运企业风险评估的实施[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(3): 156-160.
- [9] 李国祥. 安全管理体系有效性评价[D]. 大连: 大连海事大学, 2002.
- [10] 王秀香, 施红勋, 牟善军, 等. 基于层次分析法的企业HSE管理绩效评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(3): 98-103.

作者简介

于海生 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机适航管理及符合性验证技术。E-mail: yuhaisheng@comac.cc

Research on effectiveness evaluation method of continuous airworthiness system for civil aircraft

YU Haisheng *

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: The regular evaluation of the effectiveness of the Continuous Airworthiness System is the mandatory requirement of airworthiness regulations, and it is also an important means for the main manufacturers of civil aircraft to continuously improve the system and improve the operation quality of the system. At present, the effectiveness evaluation of the system only adopts qualitative evaluation, and the objectivity and scientificity of the evaluation results are difficult to guarantee. Through the analysis of the connotation and performance characteristics of the effectiveness of the Continuous Airworthiness System, the operational effectiveness of the system was divided into hierarchical indexes, and the weight of each index was determined by using the analytic hierarchy process, which was then verified to provide a more objective and scientific evaluation method for the effectiveness evaluation of the Continuous Airworthiness System of the aircraft main manufacturers.

Keywords: civil aircraft; continued airworthiness; system effectiveness; analytic hierarchy process

* Corresponding author. E-mail: yuhaisheng@comac.cc