

民机起落架系统研制适航工作分析

冯全磊* 冯广周 笛

(中航飞机起落架有限责任公司,长沙 410200)

摘要:在梳理国家适航法规要求、适航管理机制、民机研制过程、适航审定过程的基础上,对民机起落架系统研制过程相关适航工作要求开展分析,明确了民机起落架系统随航空器型号合格审定、生产许可审定和适航合格审定一起批准(随机适航)过程中的适航工作目标和主要适航工作内容,并对起落架系统持续适航工作进行了简要论述。民机起落架系统研制随机适航工作虽然属于航空器适航取证工作的组成部分,但起落架系统研制单位仍承担其产品适航性的“第一责任”,研究内容对民机起落架系统研制单位开展项目策划和研制体系建设具有指导作用。

关键词:民机起落架系统;适航审定;适航证

中图分类号: V226

文献标识码: A

OSID:



0 引言

起落架系统作为民用飞机关键机载系统之一,直接影响飞机起降过程中的安全,其设计、验证、制造等过程受适航审查方的普遍关注,随之而来的包含适航管理、适航符合性设计与验证、适航技术研究等在内的相应管理和技术活动,共同构成了民机起落架系统研制适航工作的主要内容。

通过适航审定获得适航当局的批准,是民用飞机进入市场的安全门槛和法定前提,而其中起落架系统适航工作已成为民机起落架系统研制项目深入推进的制约因素之一。特别是在国内多型民机项目逐步实施、起落架产业化发展深入推进的背景下,系统梳理国家适航法规要求、适航管理机制、适航审定过程,进一步界定和厘清起落架系统研制过程中相关适航工作要求与主要适航工作内容,既可为民机起落架系统研制项目策划提供适航方面的重要需求来源,也可为民机起落架系统研制单位研制体系建设提供指导。

1 我国适航管理政策概述

作为民航飞行安全链条之一的民用航空器(含其

零部件),其安全性直接决定了飞行活动的安全性^[1]。而民用航空器的适航性正是其整体性能和操纵性能在预期的环境和使用限制条件下具有安全性和物理完整性品质的表征,且这种品质要求民用航空器在全寿命阶段内始终保持符合其型号设计和始终处于安全运行状态^[2]。为此制定适航标准并实施适航管理,是历经民用航空实践和航空技术进步形成的,确保民用航空器可接受的最低安全性水平的国际性、强制性、系统性的民用航空活动基本方法。我国落实适航要求的机制化途径为:国家通过立法形式颁布适航法规,并成立国家适航管理组织机构,依法开展适航审定活动;工业方则在民用航空器设计、制造、使用及维修等过程中贯彻适航法规要求,依法接受国家适航管理部门的适航审查、监督与管理^[3]。

总体而言,适航法规文件方面,经适航当局多年建设,已形成包括民用航空法、民用航空器适航管理条例及国籍登记条例、民用航空规章(CCAR)、适航规范性文件(含管理程序AP、咨询通告AC、管理文件MD、工作手册WM、信息通告IB)在内的四层适航法规文件体系^[4-5]。适航组织机构方面,根据民用航空器适航管理条例规定,国务院授权中国民用

* 通信作者. E-mail: quanlei.feng@lamc.com.cn

引用格式: 冯全磊,冯广,周笛. 民机起落架系统研制适航工作分析[J]. 民用飞机设计与研究,2020(3):115-120. FENG Q L, FENG G, ZHOU D. Airworthiness analysis of landing gear system development for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research,2020(3):115-120(in Chinese).

航空局(CAAC)负责我国适航管理。CAAC 逐步建立了两级局方(民航局、民航地区管理局)和三层审定(立法决策层、执法监督层、委任基础层)的适航管理体系,并对具体合格审定项目建立对应的审查工作体系^[6-7]。基于行政许可管理的特点,CAAC 采用适航证件的形式对民用航空活动进行认可与批

准^[8],相关适航证件主要包括三类:(1)航空产品和零部件相关的适航证件,譬如型号合格证(TC)、技术标准规定项目批准书(CTSOA);(2)适航相关单位和机构证件,譬如维修许可证、委任单位代表证;(3)适航及安全相关从业人员证件,譬如委任代表证、航空器维修人员执照。

表 1 基于适航要求的民机起落架系统研制概览

主要阶段*	适航审定过程	审查批准对象	起落架系统主要研制任务简述	起落架系统适航工作目标	主要适航规章与规范性文件	备注
研制阶段	(1) 立项与可行性论证		编制初步技术方案报告等,配合开展立项及可行性论证及评审			
	(2) 总体方案定义(预发展阶段 1)		系统开发过程定义,系统研制顶层计划,初步确定系统适航审定基础,系统级需求捕获与分析,系统需求评审,关键技术研究,子系统供应商合同签署			
	(3) 初步设计(预发展阶段 2)	型号合格证/TC 取证(含概念设计、要求确定、符合性计划制定、计划实施、证后阶段)	系统需求捕获及确认,系统架构设计与权衡,系统接口定义,PSSA,工艺总方案,确定系统适航审定基础,初步编制适航支持计划,设备需求捕获及确认,设备需求文档、技术规范发放,初步确定成品、原材料、标准件采购计划,系统 PDR	起落架系统型号设计随航空器型号设计一起获得设计批准	CCAR-21-R4 AP-21-AA-2011-03R4 AP-21-06R3	对于起落架系统产品本身的适航性,应同时随单架航空器的适航合格审定按 AP-21-AA-2008-05R2 获得适航批准
	(4) 详细设计(工程发展阶段 1)	型号设计(设计符合性审查+设计保证系统审查)	软、硬件初步设计评审,确定适航支持计划,设备、部件方案设计、出图,生产准备,软、硬件详细设计评审,系统实现及验证计划,验证程序文件编制,系统 CDR			
	(5) 全面试制(工程发展阶段 2)		SSA,生产就绪审查,软、硬件实现、集成、测试验证,试制生产过程制造符合性检查,系统、设备鉴定试验,验证试验过程适航目击,系统交付前评审			
	(6) 试飞验证(工程发展阶段 3)		配合主机单位开展飞机级集成、试验室试验、装机改装、机上地面试验、飞行试验,配合主机单位开展首飞前评审,配合主机单位开展相关试飞取证工作,符合性文件编制及总结			
批产阶段	生产许可证/PC 取证(含证前审查、证后监督管理)	生产单位(基于产品的系统审查)	证后设计更改,持续适航文件持续修订及提供,服务通告管理,超手册修理方案提供,适航指令贯彻,生产过程适航监督及质量体系持续审核	起落架系统生产设施作为主制造商生产设施的延伸,对质量系统作为申请人质量系统一部分获得生产批准	CCAR-21-R4 AP-21-AA-2019-31 AP-21-06R3 AC-21-AA-2013-04R1	

*注:1. 除此处于对应区分“批产阶段”,所述“研制阶段”指狭义的 TC 取证前外,其余所述“研制”均指包含批生产在内的广义的研制阶段;
2. 根据不同资料的定义又可划分为需求与概念论证、初步设计、详细设计、试制与验证、批量生产等阶段。本文不对阶段划分展开讨论,仅选取其中一种划分方式以梳理起落架系统研制适航工作

2 基于适航要求的民机起落架系统研制

适航性作为民机产品固有品质之一,取决于完善的设计、优质的制造、有效的使用和良好的维修维护,民用航空工业企业承担所研制产品适航性的“第一责任”^[2]。适航标准从设计源头到交付服务一以贯之的贯彻执行以及贯彻执行情况的验证,是民机这类特殊商品得以实现价值和增值的基本手段,是保证民机产品安全性能这张特殊名片的有效途径。民机起落架系统研制单位构建自身适航能力、完善内部适航体系、保证产品适航性,既是遵法守法、落实适航“第一责任”的必然要求,更是自身应对适航审定标准、流程、资源等挑战,确保安身立命的产品合法合格,提高产品研制和审定效率,从而增强产品市场竞争力的强烈的内发需求。

实质上,对于包括起落架系统在内的民机产品研制而言,适航性设计与符合性验证已成为产品设计、验证的有机组成部分,适航符合性方法(MC1-说明性文件、MC2-分析/计算、MC3-安全评估、MC4-试验室试验等)涉及的正是产品设计与验证方法活动,如计算分析、试验室试验、飞行试验等,是产品研制工作向适航当局表明设计满足最低安全需求的必备内容,民机研制与适航审定过程在保证民机安全性的目标下就此达成有机统一^[9-10]。基于适航要求的民机起落架系统研制过程及对应适航工作目标概览见表1。

3 民机起落架系统研制适航工作分析

3.1 适航工作目标

在航空器型号合格审定阶段,起落架系统研制单位作为航空器型号合格审定申请人(主机单位)的设计、制造与试验类供应商,应贯彻适航规章要求并承接主机单位设计保证系统要求,建立并保持与起落架系统研制相匹配的设计保证系统,可以以起落架系统设计保证大纲的形式进行明确,对起落架系统的设计(含验证)、设计更改进行控制,并接受主机单位与适航当局的审查与监督,确保起落架系统的型号设计随航空器最终获得适航当局设计批准。

当航空器研制进入批生产阶段,起落架系统研制单位作为航空器生产许可审定申请人(主机单位)的起落架产品供应商,生产设施构成主机单位

生产设施的延伸,应建立满足适航规章要求的质量系统,以确保每一起落架产品均能符合经适航当局批准的设计并处于安全可用状态,从而支持主机单位质量系统获得适航当局生产批准,并满足主机单位和适航当局证后管理与监督审查要求。而当主机单位在按适航当局规定的时间期限内仅依据型号合格证进行航空器生产时,起落架系统研制单位应确保每一起落架产品均在适航当局的监控下生产,按要求接受适航当局的检查和试验。

起落架系统研制单位应在航空器型号合格证审定阶段开展系统使用说明、部件修理手册制定等持续适航文件编制工作的基础上,开展系统运行、使用过程涉及的安全改进、适航指令贯彻、特殊修理方案批准等持续适航工作,确保起落架系统的持续适航状态。

3.2 立项与可行性论证阶段主要适航工作

此阶段,主机单位通常尚未达到向适航当局提交申请的状态,适航当局未介入审查,起落架系统研制适航工作处于前期准备阶段,主要结合论证工作配合主机单位同时开展包括但不限于如下的适航工作:

- (1)对起落架系统预期的适航审定基础、型号合格审定程序进行初步地熟悉与分析;
- (2)就起落架系统满足适航要求的可行性进行分析;
- (3)起落架系统预计采用的新设计、新技术、新材料、新工艺等适航符合性验证的风险分析;
- (4)潜在次级供应商适航能力与适航工作经验的考察;
- (5)预期开展起落架系统设计保证活动所需资源的评估与策划。

3.3 预发展阶段主要适航工作

此阶段大体对应型号合格审定概念设计和要求确定阶段,通常主机单位在此阶段与适航当局开展前期接触,并将正式提交申请,适航当局根据评估受理申请并成立审查组织,介入型号设计并开展型号合格审定具体审查工作,起落架系统适航工作开始迈入实质阶段,主要适航工作包括但不限于:

- (1)就起落架系统所采用新颖的或独特的设计特征、新材料或新工艺等与主机单位开展尽可能深入地讨论,并寻求主机单位和适航当局的指导,为起落架系统审定基础与初步适航支持计划的编制提供

参考;

(2) 根据主机单位和适航当局对起落架系统预期适航规章的指导和建议的适航规章条款, 结合起落架系统初步设计方案编制起落架系统初步适航支持计划;

(3) 根据适航当局和主机单位对设计保证系统的要求, 策划起落架系统设计保证活动, 初步制定起落架系统设计保证大纲(DAP);

(4) 策划预计独立取证的起落架系统配套零部件的取证计划;

(5) 在方案设计的早期与主机单位和适航当局就起落架系统适用的适航条款、可能的专用条件等开展讨论, 并逐步最终确定起落架系统的审定基础;

(6) 根据系统研制需求开展适航委任代表的培养, 获得适航当局对委任代表的委派与授权。

3.4 工程发展阶段主要适航工作

此阶段大体对应型号合格审定符合性计划制定和计划实施阶段, 型号研制全面铺开, 型号合格审定持续深入, 起落架系统适航工作主要包括但不限于:

(1) 形成完整的起落架系统适航支持计划(CSP), 明确具体的符合性方法、符合性证据、符合性验证试验等, 同时需包含次级供应商研制产品的适航符合性策划内容, 在获得主机单位审查认可后作为主机单位系统级或专题级审定计划(CP) 的依据和基础, 起落架系统 CP 在经适航当局审查认可与批准后, 作为起落架系统适航审查活动的纲领;

(2) 确定起落架系统制造符合性检查范围, 包括起落架系统制造符合性检查项目(含检查属性)及实施工序;

(3) 完成试验产品(含原型机及试验件)起落架系统的制造及过程中的适航审查, 包括设计保证活动审查、工艺审查、制造符合性检查;

(4) 完成起落架系统符合性验证试验, 包括起落架系统试验规划与计划(审定计划、鉴定大纲、试验大纲等)的适航审查、试验件制造过程的适航审查、试验过程的适航审查和试验结果的适航审查;

(5) 独立取证的起落架系统配套零部件按计划取得批准证书, 并完成相应装机批准审查;

(6) 配合和支持主机单位开展机上地面试验、飞行试验起落架系统相关验证工作;

(7) 完成审定计划中确定的起落架系统相关符合性验证资料、符合性报告(如计算分析结果、试验

报告、检查记录等)和符合性检查清单的编制, 获得主机单位和适航当局审查批复;

(8) 配合和支持主机单位开展航空器运行符合性评审、飞行训练、维修培训等与起落架系统相关的支持工作;

(9) 开展起落架系统使用说明、产品图解目录、部件修理手册等持续适航文件的编制, 获得主机单位和适航当局审查认可。

3.5 型号合格审定证后主要适航工作

该阶段适航当局完成项目的型号合格审定收尾工作, 并开展型号合格审定证后管理工作, 对应起落架系统适航工作主要包括但不限于:

(1) 完成起落架系统随机适航资料的保存;

(2) 按协商确定的要求配合主机单位提供航空器交付时起落架系统相关必要文件, 如起落架系统持续适航文件、适航指令的符合性状态等;

(3) 开展起落架系统相关事件的收集、分析与管理, 制定改正/改进措施;

(4) 开展服务通告(SB)的编制与管理;

(5) 贯彻适航指令(AD);

(6) 根据需要提供起落架系统相关特殊修理方案, 并获得适航当局审查批准;

(7) 根据需要开展证后设计更改(含持续适航文件更改), 并获得适航当局审查批准;

(8) 配合主机单位完成适航当局实施的与起落架系统相关的证后特殊评审和调查。

在起落架系统随航空器取得设计批准后, 无论是研制单位出于设计优化、迎合客户需求、安全性改进等目的主动发起的设计更改, 还是改正缺陷、贯彻适航指令等进行要求的设计更改, 均需获得主机单位和适航当局的审查与批准。起落架系统涉及的设计“小改”可按设计批准持证人对型号的具体要求, 在向适航当局提供验证资料或者说明性资料之前按照适航当局接受的方式获得批准; 起落架系统型号设计“大改”则应根据更改程度, 按适航规章的规定通过新型号合格证/型号合格证更改/补充型号合格证方式获得批准。

3.6 生产批准及管理监督相关适航工作

起落架系统研制单位应提供一份描述民机起落架系统生产的质量系统的手册或质量保证大纲, 以支持主机单位和适航当局在生产许可审定过程中的文件审查和现场审查活动, 并根据主机单位的审查

计划,接受主机单位和适航当局实施的相关基于产品的系统审查。

起落架系统质量手册/质量保证大纲及其支持性文件形成的质量系统文件应符合适航规章要求,齐全完整,覆盖组织管理、设计控制、软件质量控制、制造过程、制造控制和供应商控制等对应适航规范性文件所有适用准则的要求。质量系统的运转情况和有效性应符合适航要求。对于诸如生产设施调整、质量控制程序更改等影响到起落架产品的检验、符合性或适航性的质量系统的更改,起落架系统研制单位应按要求通知主机单位,必要时通过主机单位通知负责证件管理的主管检查员,并接受相应的审查。

取得 PC 证后在管理与监督审查过程中,对于包含产品审查在内的质量系统复查(QSRA)、供应商控制审查(SCA)、主管检查员审查(PIA)等周期性日常管理与监督审查/非周期性随机管理与监督审查,起落架系统研制单位应接受主机单位和适航当局实施的与起落架系统产品相关的生产过程监督和质量体系持续审核。

3.7 起落架系统配套零部件的独立取证

起落架系统配套零部件的独立取证方式主要包括取得技术标准规定项目批准书(CTSOA)、零部件设计批准认可证(VDA)、零部件制造人批准书(CAAC-PMA)。

对于CTSO项目的独立取证,起落架系统配套零部件研制单位需在研制阶段早期(预发展阶段)制定独立取证计划,在工程发展阶段按适航规章、规范性文件的规定和取证计划完成产品设计符合性验证与审查,通过质量系统审查批准,获得适航当局颁发的CTSOA,生产的CTSOA件需按规定进行标记,同时,需在工程发展阶段配合完成装机批准审查。

对于已取得国外技术标准规定项目批准书的起落架系统配套进口零部件,如欲获得中国适航当局的认可批准,零部件供应商需按程序取得其产品的VDA。

对于起落架系统配套零部件CAAC-PMA的独立取证方式,适用于供安装在已获得型号合格证书的民用航空器上作为加改装或更换用的起落架零部件,或已获得装机批准的技术标准规定项目中起落架零部件的替换件的生产,对应起落架零部件制造单位应按适航规章和规范性文件的规定开展相应的

设计符合性验证与审查,以及通过质量系统审查批准,获得适航当局颁发的CAAC-PMA,生产的相应CAAC-PMA件应按规定做好标识。

3.8 起落架系统持续适航工作分析

为确保起落架系统的持续适航状态,起落架系统研制单位应建立满足适航规章和规范性文件要求的持续适航工作机制,进行可靠性和维修性设计,制定并提供持续适航文件,开展起落架系统相关的事件收集与分析、改正/改进措施制定与管理、服务通告(SB)管理、适航指令(AD)贯彻、特殊修理方案制定等持续适航工作,起落架系统研制单位还应根据与主机单位的相关协议约定提供相关售后技术服务支持、产品维修服务等,持续履行起落架系统产品设计、制造方的持续适航责任。

4 结论

通过对民机起落架系统研制过程适航工作的分析:

1) 起落架系统研制单位应建立贯彻适航规章、满足主机单位型号适航工作顶层要求、与产品特征和企业特点相匹配的起落架系统设计保证系统和质量系统,并在此基础上开展起落架系统研制适航工作;

2) 为落实相应持续适航责任,还应开展起落架系统持续适航工作,确保起落架系统从设计、制造直至交付使用适航性的持续保持;

3) 起落架系统适航工作与系统研制过程融于一体,其成效必将成为制约起落架系统产品实现和服务提供的重要因素,起落架系统适航工作要求也可作为起落架系统研制单位开展项目研制和体系建设策划的重要约束。

参考文献:

- [1] FLORIO F D. Airworthiness: An Introduction to Aircraft Certification 适航性:航空器合格审定引论[M]. 张曙光,柯鹏,潘强,等编译. 北京:北京航空航天大学出版社,2011:1-2.
- [2] 赵越让. 适航理念与原则[M]. 北京:航空工业出版社,2002:1-2,42-45.
- [3] 中国民用航空局. 中华人民共和国民用航空器适航管理条例[S]. 北京:中国民用航空局,1987.
- [4] 中国民用航空局. 适航规章 and 环境保护要求制定和修改程序: AP-11-AA-2010-01[S]. 北京:中国民用航空局,2010.

- [5] 中国民用航空局. 规范性文件制定和修改程序: AP-12-AA-2010-01[S]. 北京: 中国民用航空局, 2010.
- [6] 王京玲. 保障航空安全 促进行业发展—中国适航管理回顾[J]. 中国民用航空, 2009(10): 22-25.
- [7] 中国民用航空局. 航空器型号合格审定程序: AP-21-AA-2011-03-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- [8] 中国民用航空局. 民用航空产品和零部件合格审定规定: CCAR-21-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2017.
- [9] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 5 册: 民用飞机总体设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2005: 3-12.
- [10] 郝莲. 民机研制适航取证总体技术方案探讨[J]. 航空制造技术, 2012(22): 62-65.

作者简介

冯全磊 男, 硕士研究生, 高级工程师。主要研究方向: 飞机起落架适航技术与管理研究。E-mail: quanlei.feng@lamc.com.cn

冯 广 男, 硕士研究生, 高级工程师。主要研究方向: 起落装置设计技术。E-mail: guang.feng@lamc.com.cn

周 笛 男, 硕士研究生, 工程师。主要研究方向: 飞机起落架适航技术与管理研究。E-mail: di.zhou@lamc.com.cn

Airworthiness analysis of landing gear system development for civil aircraft

FENG Quanlei* FENG Guang ZHOU Di

(AVIC Landing Gear Advanced Manufacturing Co., Ltd, Changsha 410200, China)

Abstract: Based on the requirements of national airworthiness regulations, airworthiness management, civil aircraft development process, and airworthiness certification process, this paper analyzes the airworthiness requirements related to the development of civil aircraft landing gear system to define the airworthiness objectives and main tasks of civil aircraft landing gear system in the process of approval (random airworthiness) together with aircraft type certification, production certification and airworthiness certification, and also briefly discusses the continuing airworthiness work of the landing gear system. Although the airworthiness work of the landing gear system is a part of aircraft airworthiness certification, the research and development unit of the landing gear system still bears the “first responsibility” for the airworthiness of its products. The research content has a guiding role in the project planning and development system construction for the civil aircraft landing gear system development unit.

Keywords: civil aircraft landing gear system; airworthiness validation; airworthiness certificate

* Corresponding author. E-mail: quanlei.feng@lamc.com.cn