

军用飞机研制阶段适航性研究

白康明¹, 郭基联¹, 焦 健²

(1. 中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089; 2. 北京航空航天大学, 北京 100083)

摘要 在军用飞机研制中开展适航性工作, 是现行军机研制管理模式所面临的一次重大挑战, 符合我国航空工业机制的可借鉴经验很少。结合现行航空武器装备研制体制, 介绍了国内外民机和军机研制的适航性技术工作现状, 探讨了我国军用飞机开展适航性工作的初步思路和技术途径, 提出了标准规范、组织机构、管理方法等方面建设的意见和建议, 指出了适航性工作重点及亟待解决的基础技术问题, 以期为构建科学完善的国产军机适航性技术体系提供有益参考。

关键词 军用飞机; 研制阶段; 适航性; 技术体系

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.05.001

中图分类号 V328.3 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)05-0001-04

适航性是飞机在预期的环境条件下适合安全飞行的一种特性。民用飞机经过型号合格证、生产许可证、单机适航证、以及持续适航保证等过程, 确保了飞机百万飞行小时发生一次灾难性事故的安全水平。根据 IATA(国际航协)统计, 2008 年全球民用飞机平均百万飞行小时发生 0.81 次灾难性事故; 而对于军用飞机, 即使是全球范围内安全水平领先的美国, 近十年来灾难性事故率也在十万飞行小时发生 1.5 起左右, 与民用飞机存在巨大的差距^[1]。

民机是为公众利益服务的运载工具, 以飞机的安全性、旅客的舒适性和运行的经济性为首要目的。因此, 民航以公开的国际统一的适航标准和规定为要求, 以严格的适航管理程序和国际上惯常做法为手段, 由民航自身的力量对研制民机进行适航管理。目前国际上已经形成了与民机研制体系相适应的适航审定体系和适航工作程序^[2]。而军机由于其用户(即军方)的特殊性, 在适航管理理念、体系、方法、手段和操作系统均与民机有很大的不同。

进入 21 世纪, 欧美发达国家陆续提出了军机研制的适航工作要求与相应的标准规范^[3-6]。美空军于 2000 年颁布了政策指令 AFD 62-6《美空军适航性审查》, 美国防部于 2002 年颁布了其军用手册 MIL-HDBK-516《军机适航性审查准则》, 并在 C-17 运输机研制中开展了部分适航性工作; 英国、加拿大等国也随后颁布了类似的标准规范^[7]。其中, 尤以 MIL-HDBK-516 最具代表性, 集中体现了型号研制各专业技术中的安全要求, 该准则连续在 2004 年和 2005 年颁布了 A 版和 B 版, 并于 2008 年完成了 B 版修订。

在 ARJ-21 支线客机及 C919 干线客机适航审查要求的推动下, 近些年来国内民用运输机研制的适航工作已取得了长足进步, 从法规体系、组织体系、审定人员等方面已经初步具备了较完整的规模和能力^[8]。相比之下, 军机研制的适航工作则落后得多, 目前还没有军机的适航指令性文件, 也还没有形成军机的适航性标准体系; 从业人员对军机的适航意识淡薄, 型号研制适航性工作经验匮乏, 而对于具体的适航管理体系、方法、手段和操作系统所知甚少; 在材料、机载设备环境试验和基础设施、复杂系统安全性分析与评估方法等方面技术基础薄弱, 缺乏型号经验或相关支撑数据积累。

因此, 如何借鉴民用飞机适航理念和适航标准规范以及外国军机的适航性工作经验, 在现有的军机研制管理模式、时间经费、以及工业技术基础能力下实现军用飞机的适航性, 是目前军机特别是军用运输类飞机型号研制亟待解决的问题。本文结合型号研制实践, 研究和探索我国军用运输类飞机研制过程中的适航性工作, 为飞机研制满足预期的安全性要求提供技术支持。

* 收稿日期: 2011-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50975284); 航空科学基金资助项目(20100203001)

作者简介: 白康明(1961-), 男, 陕西澄城人, 研究员, 主要从事飞机适航性、飞机系统安全性分析与评估研究。

E-mail: faibkm@163.com

1 适航性工作的基本要求

军机适航性的实现既需要研制方按照研制总要求提出的适航性目标开展研制和验证活动,也需要军方按照确定的要求进行确认。为了在军机型号研制中引入适航工作,需要对有关的适航性技术顶层文件进行规划,包括研制方和审查方,其基本要求包括:

1) 制定军机型号研制适航性顶层政策要求和适航性审查准则,这是开展军机适航性工作的首要条件,使适航性工作“有法可依”;

2) 研制部门要适应军机研制体系下的适航性工作,需要改进和完善现有的型号管理体系和质量管理体系,建立一套适应军代表系统开展适航工作的管理规定和操作方法。包括军机研制适航性工作管理办法、军机研制适航性设计保证手册、军机研制适航性生产质量控制手册等;

3) 审查部门需要建立具有一定资格或经授权的人员或组织,根据规定的标准、按照可接受的方法、执行规定的程序来确认飞机适合于安全飞行,即适航性工作的4个维度:一组有能力的人员、一系列标准、一套方法和规定的程序,即军机研制适航性审查工作实施办法、军机研制适航性审查程序等。

2 适航性工作模式

军机型号研制开展适航性工作是保证飞机达到使用方(即军方)可接受的安全水平的一种技术方法和手段。

2.1 适航性工作总体思路

军机型号开展适航性工作,应当立足于国内现有技术水平现状,不脱离现有的军机研制管理体系,不影响总的型号研制进度,充分利用现有的资源,通过管理创新,开展适合国情的军机型号适航性工作,同时可以借鉴民机和国外军机的适航要求和管理方法。

1) 贯彻军机型号适航工作原则。包括:适航性工作全面推进与重点专题相结合;适航性验证与研制和定型验证相结合;节点检查与阶段评审相结合;适度开展适航性工作而不进行专门的适航性审查。

2) 确定型号适航要求。对CCAR-25《运输类飞机适航标准》进行适用性分析后做适当的剪裁,结合现行国家军用标准和规范,补充相关的行业标准等与安全有关的技术要求,初步形成军机型号的适航性要求。

3) 明确适航工作组织系统。在型号总设计师领导下,依靠质量管理体系,以及军代表系统和型号质量师系统、专家咨询组、各单位适航队伍,开展军机型号适航性工作。

4) 落实适航性要求。将确定的适航性要求贯彻到型号系统设计规范中,评审、检查系统设计规范中适航性要求的落实。

2.2 适航性工作组织系统

在型号总设计师系统内设立适航性工作系统,明确职责,确保型号研制工作中适航性责任的落实,是有效开展军机适航性工作的基本保证。参考现行民机相应体制,结合军机研制特色,军机适航工作组织系统见图1^[9]。

1) 型号总设计师:领导型号适航工作。

2) 型号适航总师系统:在型号总设计师领导下,主管型号适航工作。建立型号适航工作系统,进行型号顶层适航工作的组织、管理与协调;负责确定型号适航要求,组织适航工作实施以及重大技术攻关;与各系统总设计师协调处理和解决型号研制中的适航工作问题。

3) 适航工作系统办公室:负责制订型号适航性工作程序、适航性工作计划,协调、落实并监督其实施,组织进行适航性技术培训。

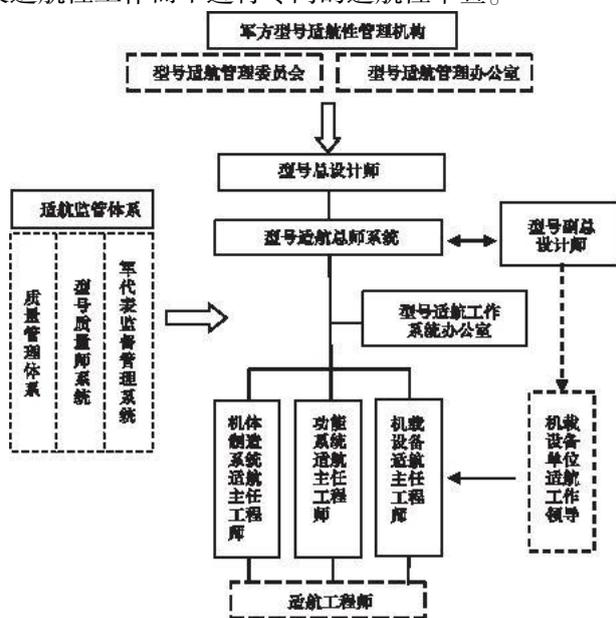


图1 军用飞机研制适航性工作组织系统

Fig. 1 Airworthiness organization system of military aircraft development

4) 适航主任工程师:将型号适航性工作目标和要求传达给相关领导和相关人员,确保适航要求在系统/产品研制过程中得到贯彻与符合,以及适航符合性设计/验证工程师按其职责合适地介入每一个适航过程并协调他们的工作。

此外,为了推动型号研制单位开展适航性工作,军方建立了型号适航性管理机构,即型号适航管理委员会及其工作机构适航管理办公室,约束与管理总设计师系统开展适航性工作。适航监管体系负责型号适航工作的监督和审查,和民机不同的是,其中尤其要发挥军代表的监督管理作用。型号副总师则需和各机载设备单位的适航工作领导保持密切联系,以保证机载设备适航性要求的落实。

3 适航性工作重点专题

按照全过程推进与重点专题相结合的军机型号适航性工作原则,应重点开展以下几方面工作。

1) 系统安全性分析与评估。结合军机型号研制总要求,筛选并裁剪合适的标准规范条款作为军机系统安全设计标准。包括:CCAR-25《运输类飞机适航标准》、AC25.1309《系统设计分析》、ARP4761《民用机载系统和设备安全性评估过程的指南和方法》、DO-178B《机载系统和设备的软件审定考虑》、DO-254《机载电子硬件的设计保证指南》等。按照裁剪后的安全性标准,对军机系统进行全面的安全性分析与评估,主要包括:功能危险分析(FHA)、故障树分析(FTA)、失效模式影响分析(FMEA)、初步系统安全分析(PSSA)、共因分析(CCA)、系统安全分析(SSA)等。

2) 过程控制。在研制过程中和转阶段评审中,编制各系统的适航性审查计划等,增加过程控制。审查各符合性设计/验证文件,审查各类设计/工艺标准和规范等,并确保型号研制、生产中各项活动的可追溯性。

3) 供应商管理。飞机研制国际上采用“主机制造商+供应商”的模式,并将供应商分为3类,即设备、系统供应商(包括发动机);航空材料、结构供应商;设计供应商。型号的适航责任主体为主机制造商,由制造商对供应商进行控制。通常,主机制造商要求供应商通过AS/EN9100质量体系认证,并采用在线管理和监控软件以及例会的方式和手段,对供应商的“组织、职责、程序、资源、过程”进行评估和监控。

4) 机载设备和机载软件管理。参考DO-254《机载电子硬件的设计保证指南》和DO-160《机载设备环境试验方法》等规范,严格机载设备的研制过程控制和总体要求。软件等级的确立是基于系统功能危害度和系统安全性评估。可参照DO-178B《机载系统和设备的软件审定考虑》对机载软件的研制过程进行有效地控制与开展评定工作。

4 适航性验证工作的关键技术

开展适航性验证工作,是确保军机型号满足适航性要求的重要手段。分析世界范围内军机安全事故案例,本文认为应重点开展以下适航性验证关键技术的研究。

1) 飞机适航试飞验证技术。适航试飞技术主要有边界科目试飞验证技术、颤振试飞验证技术、防冰系统试飞验证技术、数据采集、处理和测试技术、试飞管理技术等。

2) 飞机的损伤容限适航验证技术。必须表明飞机在整个使用寿命期间将避免由于疲劳、腐蚀、制造缺陷或意外损伤引起的灾难性破坏。对可能引起灾难性破坏的每一结构部分,除进行疲劳(安全寿命)评定外,必须按规定进行损伤容限评定和损伤容限离散源评定。对于涡轮喷气飞机,可能引起灾难性破坏的结构部分,还必须进行声疲劳强度评定。

3) 飞机的闪电防护验证技术。CCAR25.581条款要求“飞机必须具有防止闪电引起的灾难性后果的保护措施”。25.1316条“系统闪电防护”要求,在该条(c)款中要求设计并验证飞机电气/电子系统对闪电影响的防护能力,以表明飞机在遭遇严重闪电环境时满足本条(a)款和(b)款的闪电防护准则的符合性要求^[10]。燃油系统的设计和布局必须防止点燃系统内的燃油蒸汽,咨询通告AC20-53A和SAE ARP5416中对燃油系统闪电防护设计建立了有关的验证要求。

4) 飞机的防除冰适航验证技术。为了验证防冰分析结果,检验各种结冰异常情况,演示防冰系统及其部件的有效性,必须对飞机或其部件在各种运行形态和经测定的自然大气结冰条件下进行飞行试验。CCAR25.1093和1419条款对此作出了明确要求^[10]。

5) 系统安全性分析与评估技术。系统安全性分析与评估主要包括:功能危险分析(FHA)、故障树分析(FTA)、失效模式影响分析(FMEA)、共因分析(CCA)等技术在航空产品中的应用。

此外,飞机的高能电磁辐射场(HIRF)验证技术、发动机高能转子的损伤容限技术、机载设备和系统软件的符合性验证技术等也是需要重点关注的军机适航性验证技术。CCAR25相应条款也作出了相应的要求。

5 结束语

适航性是飞机在预期的运行环境中表现出的固有安全特性,是设计制造与保证出来的。民机的适航审定只是适航当局为确认飞机的设计、制造及运营满足最低的安全性要求而进行的一系列抽查、重点审查活动。在根本上,飞机的适航性是靠承制方的研制技术体系和质量管理体系来实现的,所以军机适航性应该在型号研制实践中逐步形成完整规范、融入质量体系、完善管理文件、改进操作流程,进而实现飞机的高安全性。

随着我国军用飞机型号研制工作的不断深入,在现有研制管理模式下引入民用飞机适航工作的成功经验已经是大势所趋,本文在分析当前国内外适航工作现状的基础上,提出了我国军用飞机适航性工作的若干思考,以期对军机型号研制适航性工作开展抛砖引玉,启迪思维,在借鉴与创新、继承与发展中构建科学、完善的军机适航性技术体系,确保飞机研制满足预期的安全性要求。

参考文献:

- [1] 田慕. 2008年航空安全形势回顾[J]. 国际航空, 2009, 54(3): 30-31.
TIAN Mu. Aviation safety situation review in 2008[J]. International aviation, 2009, 54(3): 30-31. (in Chinese)
- [2] 陆中, 孙有朝. 民用飞机适航符合性验证方法与程序研究[J]. 航空标准化与质量, 2007, 36(4): 6-8.
LU Zhong, SUN Youchao. Research on verification methods and procedure of civil aircraft airworthiness[J]. Aeronautic standardization & quality, 2007, 36(4): 6-8. (in Chinese)
- [3] AFD 62-6 2000. USAF aircraft airworthiness certification[S].
- [4] DOD. MIL-HDBK-516B 2008, airworthiness certification criteria[S].
- [5] AFI 63-1201 2007. Life cycle systems engineering[S].
- [6] DOD. MIL-HDBK-514, Operational safety, suitability & effectiveness for the aeronautical enterprise[S]. 2003.
- [7] 欧洲军机适航性协调规章研讨会资料[EB/OL]. (2008-08-06)[2011-4-1]. <http://www.eda.europa.eu>.
Forum material of EU military airworthiness coordination regulation[EB/OL]. (2008-08-06)[2011-4-5]. <http://www.eda.europa.eu>. (in Chinese)
- [8] 李岩, 王春生. 浅析军用航空器适航性[J]. 国际航空, 2009, 54(12): 58-60.
LI Yan, WANG Chunsheng. Military aviation airworthiness analysis[J]. International aviation, 2009, 54(12): 58-60. (in Chinese)
- [9] 白康明, 焦健. 军用飞机适航性研究[J]. 可靠性工程, 2009(4): 145-149.
BAI Kangming, JIAO Jian. Research on military aircraft airworthiness[J]. Reliability engineering, 2009(4): 145-149. (in Chinese)
- [10] CCAR-25-R3 2001. 运输类飞机适航标准[S].
CCAR-25-R3 2001. Airworthiness standard for aerotransport. [S].

(编辑: 徐敏)

Research on Airworthiness in the Development of Military Aircraft

BAI Kang-ming¹, GUO Ji-lian¹, JIAO Jian²

(1. The First Aircraft Institute, AVIC, Xi'an 710089, China; 2. School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The airworthiness working in the development of military aircraft is a great challenge for the current military aircraft development and management system and only a little experience is suitable for our aviation industry mechanism. In this paper, the current condition of airworthiness system for the development of civil and military aircraft home and abroad are introduced, the primary thought on and technology approach to the development of airworthiness work for the home-made military aircraft is discussed. Finally, the regulation, organization, management and basic technology to be solved urgently for the military aircraft airworthiness are proposed. All of these provide a beneficial reference for the establishment of scientific and perfect airworthiness technology system for the home-made military aircraft.

Key words: military aircraft; development phase; airworthiness; technology system