

# 军用运输类飞机适航性 要求研究

## Airworthiness Requirement Research for Military Freighter

中航工业第一飞机设计研究院 刘存喜



刘存喜

研究员,任职于中航工业一飞院四性与综保研究所。毕业于法国国立民航大学飞机适航专业(硕士),曾长期从事飞机结构设计,现从事军、民机适航技术研究。

与传统战斗机、轰炸机相比,现代军用运输类飞机具有高可靠性、高安全性、长寿命等技术特征,这些研制要求在技术上和管理上给工业部门及管理部门均提出了较大的挑战。在此背景下,为确保新型号研制目标

本文对军用运输类飞机的适航性要求及其应用方法进行了深入研究,系统化归纳了4类不同的适航性要求以及设计理念,总结出一套完整的贯彻应用技术路线,并通过某型号适航工作的探索与实践,取得了初步的应用经验和成效,对国内军民机型号适航性工作的开展具有较强的借鉴意义。

的实现,就需要在过去型号研制经验基础上,对现有的设计技术和管理手段进行有效提升。而引入民机适航理念,探索性开展军机型号适航工作,就成为军机研制中一种较好的管理手段和技术途径。

在民机适航方面,目前国内外已有一套较为成熟的管理模式和技术路线,但军机适航是一项开拓性工作,国内缺乏相关的标准规范及工程经验。如何参考借鉴民机适航经验,确定符合军机特点的适航性要求,制定工程应用技术路线,并贯彻落实到型号研制过程中,促进军机型号研制质量与安全水平的提高,是军机适航面临的重大课题。

简单讲,军机适航性可理解为飞

机安全性在航空安全领域的代名词,代表的是在预期的使用环境及使用限制下,飞机能够安全使用的特性。当说一架飞机的“适航性”好,也就是说不管运行条件是好是坏,即使遇上什么故障或意外,飞机都是可控可操纵的,仍然能够安全返航与着陆(最低安全要求)。形象地说,“皮实、耐用”是军机“适航性”最朴素的表达。

民机适航标准最早大多来自军机研制实践,有的是从军机规范转换过来的。民机后来发展很快,反过来又促进军机规范的改进,目前军、民机标准已出现相互借鉴、不断融合的趋势。从本质上讲,军、民机的安全设计理念是一致的,所不同的是安全

目标或安全需求不一样。

## 国外军机适航标准现状

### 1 美军适航标准现状

美国军方从 20 世纪 90 年代初期率先提出军机适航性的概念,在追求军机高性能指标的同时,注重提高军机的安全水平。美国国防部在 2002 年 10 月颁布了 MIL-HDBK-516《军用航空器适航性审查准则》,适用于美国海、陆、空三军所有飞机,并于 2004 年 2 月修订升版为 MIL-HDBK-516A,2005 年 9 月修订升版为 MIL-HDBK-516B,2008 年 2 月修订升版为 MIL-HDBK-516B1。该准则主要基于美军标体系,同时融合了大量适用的民机适航标准。有关资料介绍,美军“全球鹰”无人机按照 MIL-HDBK-516 开展了相关的适航设计与验证工作;C-17 飞机服役后,补充检查了型号设计规范对该标准的覆盖情况,检查结果作为后续的安全监控及设计改进的重要依据。

### 2 英国军机适航标准现状

英国军方从 20 世纪 80 年代起研究军机适航性问题,全面关注军用航空器的性能与适航性要求。在英军标 DEF STAN 00-970“军用航空器设计要求”基础上,英国国防部于 1984 年制定了 DEF STAN 00-970《军用航空器设计与适航性要求》系列标准并不断修订,内容涵盖战斗机、小飞机、大型飞机无人机、直升机、发动机、军用机载设备及民用机载设备八大类航空器。该标准在内容及要求表述上已经非常接近民机适航标准,并给出了与民机适航标准的对应关系。

## 适航性要求编制思路与原则

### 1 编制思路

与民机确定型号审定基础类似,军用运输机适航性要求采用“A+B”形式,A 部分就是适用的民机适航条款要求,B 部分就是民机适航标准

不能覆盖的其他方面的安全要求,A 与 B 互为补充,无重复要求。需要说明的是,目前国内未掌握美英两种军机适航规范在具体型号研制中的应用情况,也缺乏对以上两个适航规范及所引用的相关标准的消理解,故不宜直接采用两个外军适航标准,而应采用在国内有一定应用经验的 CCAR-25《运输类飞机适航标准》,这个标准通过国内民机型号适航工作的牵引推动,设计人员对标准的认识和理解相对较深,在全行业具有比较广泛的实践经验。

### 2 编制原则

军用运输类飞机适航性要求的编制应遵循以下 5 个要素(与民机要求一致)。

#### (1) 适用性。

结合飞机的使用要求及安全需求,确保适航性要求对型号是适用的,避免过高或过低;

#### (2) 完整性。

参考借鉴 CCAR-25-R4 完整性框架,补充民机适航标准不能覆盖的其他安全要求(如空投、空降、低空飞行等),确保适航性要求的完整性,避免“短板”效应;

#### (3) 协调性。

各专业适航性要求之间、民机适航标准与补充的军标要求之间进行协调性检查,避免相互不协调;

#### (4) 正确性。

参考军标要求补充的现有适航标准不能覆盖的安全要求,要保证其技术内容的正确性。

## 适航性要求分类及核心理念

适航标准(适航性要求)涵盖飞机设计各专业,表述上与专业技术文件不一样,更接近法律语言,显得晦涩难懂,不容易理解。为准确理解适航条款内涵及本质,把握适航性要求的核心,对适航性要求进行分类研究,帮助设计人员在理解的基础上形

成共性/规律性的认识。

从安全类别上讲,飞机的适航性可分为本体安全、功能安全、使用安全 3 类。由于操作系统对飞机安全具有重要影响,将操纵系统单独进行研究,故由本体安全、操纵安全、系统安全、使用安全共同构成完整的飞机适航性要求。同时,4 类安全可能会相互影响,相互作用,只有将 4 类安全视为一体,统筹兼顾,全面满足,才能最终保证飞机安全。

### 1 本体安全

指以飞机总体气动特性、结构强度为核心的固有安全特性(如失速特性、升阻特性、起降特性、爬升特性、操稳特性、配平特性、高速特性、结构完整性等)。本体安全性是飞机平台的基础安全,与飞行安全直接相关,具体要求体现在 CCAR-25 部 B、C、D 3 个分部中。

本体安全核心理念是“留有余地”。主要设计理念包括:

(1) 在设计上留有合适的安全余量(实际能力要大于各种包线或边界),增强本体固有安全特性,如:

a. 以失速速度为基准的各种速度系列及速度间的安全裕度;

b. 基于越障安全的爬升梯度要求;

c. 各种包线(重量、重心包线、飞行包线、发动机启动包线等);

d. 基于飞行包线的颤振余量包线、抖振边界等;

e. 以结构完整性为目标的各种安全系数(如静强度不确定系数、疲劳分散系数等);

f. 结构损伤容限设计理念。

(2) 具有足够的环境适应能力(如简易机场,沙尘环境,高寒、高热、高原、大侧风等恶劣气象环境,强电磁干扰等)。

(3) 在使用上给出安全限制。

### 2 操纵安全

指以实现最小操纵任务为核心的飞行安全。主要包括飞行控制与

操纵、动力控制与操纵等。操纵安全基于本体安全平台,并可改善气动安全特性。操纵安全直接影响飞机的飞行安全,操纵安全性可视为一种特殊的系统安全。具体要求体现在CCAR-25部B、D、E、F分部。

操纵安全核心理念为“操纵系统所有可能的故障发生时仍能安全着陆与返航”。主要设计理念包括:

(1)避免单点失效导致灾难性后果。

(2)足够的余度设计(舵面、大气数据、计算机、能源、电源、软件、总线等),提高系统可靠性和安全性。

(3)尽量采用非相似余度(硬件/软件),保证余度的独立性和有效性;针对相似余度加强共模故障分析,最大限度避免相同模式的失效。

(4)对系统部件工作状态持续的监控(传感器、计算机、作动器等),同时对系统监控面设置进行优化,避免过度监控。

(5)重视故障情况下的系统重构(舵面重构、控制率重构等)与告警,进行充分的模拟器分析与仿真。

(6)重视人机功效因素。如杆力特性、驾驶员对各种异常情况反应等。

(7)重视电传操纵系统对闪电、HIRF环境敏感性,采用相应的防护设计。

(8)重视软件的可靠性(参照D0-178B,按A类软件进行研制)。

### 3 系统安全

指以关键成品可靠性为基础的系统设计安全,具体要求体现在25.1309及F分部中。

系统安全核心理念为“失效安全(FAIL-SAFE)”,即系统可能发生的任何故障情况,都不应妨碍飞机的安全返航与着陆。主要设计理念包括:

(1)冗余。

采用冗余系统或备用系统,在任何单个(或其它规定数目)失效时能继续具有预期的功能。

(2)隔离。

系统、部件和元件相互隔离,避免一个失效引起另一个失效。

(3)告警装置。

采用失效警告或指示,向机组就受监控系统的工作状况发出所对应的失效事件警告。

(4)应急程序。

编制失效后飞行机组程序,以便机组能采取规定的纠正措施,减少发生其它潜在继发失效事件或机组差错的可能性,保证飞机继续安全飞行和着陆。

(5)可检性。

飞机关键/重要设备或部位具有可检查性,向机组提供检查部件状况的措施,以及及时发现部件、系统的失效状况。

(6)限寿。

对于有寿件,给出寿命限制。

(7)预设失效路径。

把失效影响引导控制在预设的范围,确保失效影响对飞机安全是可接受的。

### 4 使用安全

指由于飞机使用、维护等引起的安全问题。使用安全性涉及使用限制、使用程序、培训、维修等因素。具体要求体现在CCAR-25部的G分部。

使用安全核心理念为“准确、到位”。主要设计理念包括:

(1)确保使用限制的完整性与正确性,必要时应进行验证。

a. 重量、重心限制;

b. 各种速度限制;

c. 正常程序、应急程序;

d. 充分的告警、提示信息。

(2)正确、及时的维修。

(3)足够的培训,使驾驶员充分熟悉、掌握飞机各种限制及操作程序。

## 适航性要求贯彻 应用技术路线

### 1 适航性要求分解

飞机级适航性要求是从飞机级角度提出的以安全为导向的设计与验证要求,确定的是飞机级的适航性基线,形成的是型号的适航性审查基础;另外适航性要求还需分解落实到相关的系统/子系统研制要求中,从而确立飞机各系统/子系统的适航性基线,形成各系统/子系统的适航性审查基础,作为各系统/子系统适航性设计与验证的技术依据;最后各系统/子系统的适航性要求还需分解落实到相关的机载设备研制要求中,这些要求与设备的功能、性能等技术要求一起,形成机载设备的研制规范,作为设备研制的技术依据及鉴定依据。

### 2 适航性设计与验证技术路线

适航性设计/验证技术路线采用基于需求的或以需求为牵引的模式(图1)。

该模型一般适用于飞机类复杂系统的设计与验证。设计流程自上而下,验证流程自下而上,这里所说验证指广义意义上的验证,包括三大部分:

(1)设计验证。

验证设计(方案、原理、功能等)是否满足适航性要求,验证结果表明设计符合性,采用的方法有分析、计算、模拟、仿真、评审等,验证活动针对虚拟产品进行;

(2)制造检查。

检查产品制造与设计的一致性,采用的方法是产品检验、重要工序的检查及机上检查,检查活动表明的是制造符合性;

(3)产品验证。

验证产品(试验件或试验机)是否满足适航性要求,采用的方法有试验室试验、机上试验、飞行试验、模拟器等,验证活动针对实体产品进行,验证结果表明产品的符合性。

制造符合性是产品符合性的前提,只有保证制造符合性真实有效,产品符合性才有实际意义;产品符

合性(即实体产品的验证结果)是对设计符合性(即虚拟产品的验证结果)的二次验证,产品符合性要保证与设计符合性的一致性。

行安全的条款)全面采纳,对“二次安全”条款(指飞机发生不安全状态后的乘员安全要求,如适坠性、应急撤离、水上迫降等),结合型号研制要

航性唯一判据的做法,最终的符合性验证表明只能给出安全的标志,但不能给出安全设计的准则以及过程经验。

## 5 适航性过程控制

为了保证产品最终适航性的落实,必须对研制过程中影响飞机安全的各个环节进行有效的过程控制。围绕制定要求、贯彻落实(包括在设计规范中及设计方案中的落实)、验证以及检查确认这4个环节,强化适航性的过程控制。只有过程中的适航性受控,最终的产品适航性才有保证。

## 6 过程符合性检查

军机适航性审查应注重“过程符合性”监控。结合各阶段设计审查及转段审查,工业部门对“过程适航性”进行内部预检查,及时发现设计中的不安全因素,在第一时间消灭安全隐患,同时也提高了适航符合性报告的质量和军方适航审查的通过率。

## 7 举一反三,不断强化安全设计理念

经验可谓后事之师,教训堪称前车之鉴。对照4类适航安全要求,逐步完善安全设计准则,不断强化安全设计理念,打牢型号研制的安全设计基础。设计上不断“举一反三”,逐步做到“三不”:“自己犯的 error 不再犯”、“别人犯的 error 我不再犯”、“从系统原理上和安全理念上不再犯 error”。

## 结束语

本文对军用运输类飞机的适航性要求及其应用方法进行了深入研究,系统化归纳了4类不同的适航性要求以及设计理念,总结出一套完整的贯彻应用技术路线,并通过某型号适航工作的探索与实践,取得了初步的应用经验和成效,对国内军民机型号适航工作的开展具有较强的借鉴意义。

(责编 良辰)

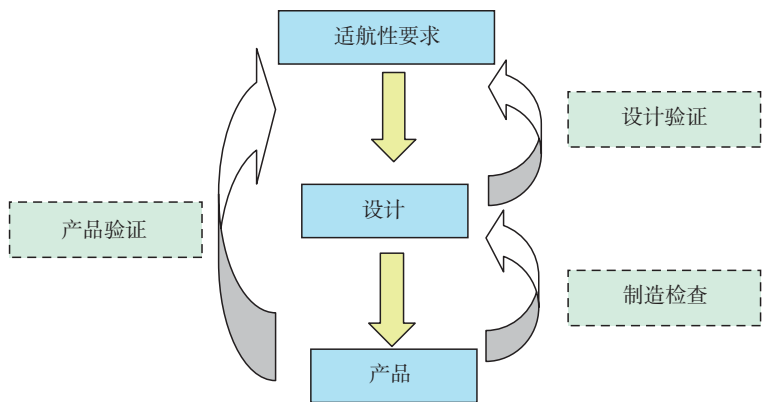


图1 基于需求的设计/验证模型示意

## 实践启示

### 1 重视军、民机适航差异性,避免照搬照抄

民机没有固定用户,存在市场竞争,由政府代表客户制定适航性要求,作为行业准入门槛要求;而军机用户固定,由军方提出研制要求,工业部门满足研制总要求即可,同时表明飞机满足军方用户提出的适航安全要求。

民机研制以安全性为重要导向,安全要求为法规性的强制要求,只有在保证安全的前提下追求更好的经济性与舒适性;而军机研制则以性能要求为导向,在保证满足战技指标的前提下,安全要求的确定则是在权衡性能要求与安全要求的基础上,由军方用户与工业方协商确定,应避免过高或过低。

### 2 合理确定军机适航性要求

军、民机安全目标与需求不同,适航性要求则不同。军用运输机型号适航性要求不能照搬照抄民机适航标准,而是结合军用运输机特点与安全需求进行合理剪裁。对“一次安全”条款(指不满足则直接危及飞

求及设计特点,综合权衡后给出意见。

### 3 正确处理适航性要求与研制规范的关系

借鉴外军适航做法,将适航性要求转化为设计要求,纳入各系统研制规范中,用研制规范具体指导型号设计,保证了在设计源头将适航性要求导入到设计与验证过程中。

适航性要求与研制规范各有侧重,不能相互替代。适航性要求是保障型号安全的最低要求,是以安全为导向的,是适航性验证的技术依据,但并不代表设计目标;而研制规范是型号研制的技术要求,具体指导型号设计,是飞机研制鉴定的技术依据,故研制规范应高于或覆盖适航性要求。

### 4 适航性应从设计源头抓起

与民机适航标准不同的是,MIL-HDBK-516B、STAN 00-970在给出了验证要求的同时,还给出了对应的设计规范,这种做法体现了美军、英军适航均强调从设计源头抓安全理念,这种理念导向更加符合飞机研制的客观规律,同时这个理念有别于将最终的符合性验证表明作为适