

正常类航空器进气条款适航符合性研究

肖毅^{1*} 孙中海¹ 李宏¹ 曾平君² 雷佻钰³

- (1. 中国民用航空江西航空器适航审定中心, 南昌, 330098)
- (2. 江西洪都航空工业集团有限责任公司, 南昌, 330096)
- (3. 中国直升机设计研究所, 景德镇, 333001)

摘 要: 正常类航空器包括正常类飞机和正常类旋翼航空器,是通用航空产业的主要机型,发动机进气系统此类航空器的重要组成部分,其设计的优劣关系到发动机能否正常工作,在适航审定中需要重点加以关注。为了全面研究正常类航空器进气条款的适航符合性,对正常类飞机及正常类旋翼航空器的适航标准、符合性验证方法进行了分析,并结合某型农林飞机及某型直升机的适航审定案例开展了对比研究。研究表明:正常类飞机及正常类旋翼航空器进气条款均采用说明性文件及飞行试验来表明符合性;说明性文件需要对进气系统的设计原理和组成等进行介绍,在具体型号中,此部分内容可以单独给出,也可以包含在动力系统设计说明文件之中;飞行试验验证不必单独开展,一般可与动力装置工作特性检查结合进行;通过对比不同型号的审定案例,给出了正常类航空器进气条款的符合性验证方法与思路,可为后续同类型号的研制与适航审定工作提供参考。

关键词: 正常类飞机;正常类旋翼航空器;进气;适航审定;对比研究

中图分类号: V231.3

文献标识码: A

OSID:



0 引言

正常类航空器包含正常类飞机和正常类旋翼航空器(通常为直升机),是通用航空产业的主要机型,其适航审定也是航空器适航审定的重要组成部分,必须重点加以研究。首先,作为民用航空器的一种属性,适航性指在预期的使用环境中和在经申明并被核准的使用限制之内运行时,航空器(包括其部件和子系统、性能和操纵特点)的安全性和物理完整性^[1],其对正常类航空器的安全运营有着最根本的影响。我国法律规定,凡具有中华人民共和国国籍的民用航空器,应当持有国务院民用航空主管部门颁发的适航证书,方可飞行。其次,发动机是航空器的核心,正常类航空器多采用活塞式发动机或涡轮发动机作为动力装置,这些发动机在工作时,均以空气和燃气作为工

作介质,必须在航空器上设计适当的进气道来满足发动机的正常工作需要^[2],进气道设计的好坏直接关系到航空器飞行性能的优劣,甚至影响航空器能否安全飞行;《飞机设计手册》中对进气道的设计提出的首要要求是“向发动机提供所需要的稳定而均匀的空气流量,保证进气道与发动机良好匹配”^[3];同样,无论是正常类航空器还是运输类航空器适航规章中均对动力装置(包含发动机和辅助动力装置)进气系统提出了明确要求,保证在可能的运行情况下,为动力装置提供所需要的空气量。

目前,国内航空器进气系统研究多集中在先进进气道的设计、仿真和试验等方面,适航审定相关研究还处在起步发展阶段。白龙等对航空发动机进气系统结冰适航性条款进行了研究,重点分析了防冰系统数值仿真、试验验证等关键

* 通信作者. E-mail: xiaoy@jxaacc.org

引用格式: 肖毅,孙中海,李宏,等. 正常类航空器进气条款适航符合性研究[J]. 民用飞机设计与研究,2023(2):8-12. XIAO Y, SUN Z H, LI H, et al. Airworthiness compliance study of air inlet terms for normal category aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(2):8-12(in Chinese).

点,并介绍了相关符合性验证案例^[4]。董宏清等对直升机进气系统雪天运行适航要求进行了研究,主要根据FAA相关咨询通告,结合国内外型号验证经验,将直升机进气系统雪天运行合格审定进行了分类定义,并给出了不同类别的限制和符合性验证内容^[5]。藤攀等对民用飞机辅助动力装置进气系统防火适航条款进行了解读并进行了试验研究,通过对某国产民机辅助动力装置进气系统防火审定案例分析和对关键接口位置的防火鉴定试验研究,明确了民用飞机辅助动力装置进气系统防火设计要点和验证措施^[6]。此外,国内有关高校的科研人员还针对进气畸变影响航空发动机适航性开展了深入的数值仿真研究^[7-8]。

本文以CCAR-23-R3《正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定》(以下简称23部R3版)及CCAR-27-R2《正常类旋翼航空器适航规定》(以下简称27部)为基础^[9-10],着重对正常类飞机及正常类旋翼航空器进气条款的适航符合性进行对比研究,从适航审定案例出发,总结正常类飞机及正常类旋翼航空器在条款符合性上的异同点,为后续相关型号研制与审定提供参考。

1 条款原文对比分析

23部R3版与27部条款原文对比如表1所示,两者主要有以下两点差异:一是23部R3版相关条款规定的对象为“发动机、辅助动力装置”,而27部相关条款面向的仅为“发动机”,这主要是由于适用于27部的正常类旋翼航空器起飞重量偏小(不超过3180 kg),多采用活塞发动机或小功率涡轴发动机作为动力装置,这两类发动机的起动方式通常为电起动,不需要辅助动力装置进行带转,而适用于23部R3版的正常类飞机(通勤类最大起飞重量可达8618 kg)如果采用涡桨发动机或涡扇发动机作为动力装置,可能需要采用辅助动力装置进行发动机地面和空中起动;二是27部强调了“机动飞行”,虽然23部R3版中的特技类飞机也能够进行迎角、侧滑角相对较大的机动飞行,但是,与正常类飞机相比,正常类旋翼航空器能够进行倒飞、悬停、侧飞等高机动飞行,这些机动飞行由于没有逆航向的来流冲压,对于发动机进气而言,是更加严酷的飞行状态。

表1 条款原文对比

条款号	条款内容
第23.1091条(a)款	每台发动机、辅助动力装置及其附件的进气系统必须在申请审定的各种运行条件下,供给发动机、辅助动力装置及其附件所需要的空气
第27.1091条(a)款	发动机的进气系统在申请合格审定的各种运行和机动飞行条件下,必须供给发动机所需的空气量

另外,23部R3版于2022年进行了修订换版,重新修订发布的23部对条款内容进行了大范围的调整与合并,但其规定的安全要求并没有本质变化。与进气相关的条款为第23.2435条,要求进气系统“在可能的运行情况下,为动力装置或者辅助动力装置及其附件提供所需要的空气”^[11],与23部R3版内容基本一致。

2 符合性验证方法对比分析

23部R3版与27部符合性验证方法对比如表2所示,两者基本一致,一般均采用说明性文件及飞行试验来表明条款的符合性。首先,需要编制说明性文件对进气系统的设计原理、最终方案等进行描述,关键点是进气面积的设计应当考虑运行中发动机最大的进气流量,必要时加入进气性能数值仿真或风洞试验结果进行辅助验证;然后,需要进行飞行试验,用以说明进气系统在申请合格审定的各种运行和机动飞行条件下,能够供给发动机所需的空气量,在表明最终符合性时,重点引用动力装置工作特性飞行试验作为论据,可以引用其他飞行试验结论进行辅助说明。

表2 符合性验证方法对比

条款号	验证方法
第23.1091条(a)款	MC1:说明性文件 MC6:飞行试验
第27.1091条(a)款	MC1:说明性文件 MC6:飞行试验

3 审定案例对比分析

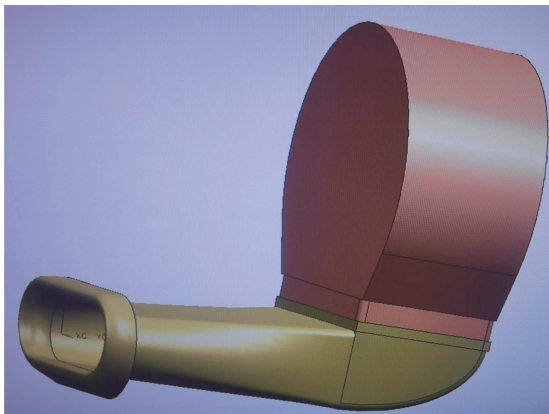
3.1 正常类飞机进气条款审定案例

某型农林飞机是完全按照23部R3版研制的,该机为单发动机、单驾驶、下单翼、后三点式固定起

落架的中型农林飞机,最大起飞重量 3 600 kg,最大飞行高度 6 000 m,最大飞行速度 235 km/h。该机配备一台捷克产 M601F 涡轮螺旋桨发动机,发动机最大起飞功率 570 kW,最大巡航功率 490 kW,起动方式为电起动。如图 1 所示,飞机进气道布置在机头下方,进气道主要由进气唇口、扩压段以及压力舱等组成。



a) 进气道布置示意图



b) 进气道三维数模

图 1 某型农林飞机进气道示意图

在第 23.1091 条适航审定过程中,申请人通过说明性文件及飞行试验来表明条款的符合性。

说明性文件主要为《某型农林飞机发动机进气道气动设计报告》,该设计报告主要包含进气唇口和喉道面积设计、扩压段设计、压力舱设计和过滤器设计、进气道三维成型等部分,报告详细介绍了进气道各项几何参数的设计依据及设计过程,能够

初步表明考虑了各种运行条件下的发动机最大进气流量。

在飞行试验验证中,申请人重点列举了“某型农林飞机动力装置工作特性及其进气道检查飞行试验”情况来表明条款的符合性,该飞行试验在飞机飞行包线范围内选取了典型的高度速度组合,通过加减油门来验证动力装置的工作特性及其与进气道的匹配特性,整个试验过程中发动机没有出现不利工作状况;然后列举了某型农林飞机巡航性能飞行试验、燃油系统在热气候条件下的工作飞行试验、螺旋桨转速和桨距限制飞行试验等其他飞行试验结论来辅助说明在各种运行条件下,发动机没有出现不利工作状况,进气系统能够为发动机提供所需要的空气量。

3.2 正常类旋翼航空器进气条款审定案例

某型直升机是按照 27 部进行型号合格审定的,该型直升机采用单发、单驾驶、滑撬式起落架、单旋翼加尾桨布局,最大使用高度 7 000 m,最大起飞重量 2 250 kg,最大巡航速度 240 km/h,最大航程 700 km。该机配备一法国产 ARRIEL-2B1A 涡轮轴发动机,最大起飞功率 500 kW,巡航功率 400 kW,起动方式为电起动。如图 2 所示,发动机进气口设置于动力舱整流罩的上方,进气系统主要由进口、收缩管道、喷嘴组件和支架等组成。

在第 27.1091 条适航审定过程中,申请人同样采用说明性文件及飞行试验来表明条款的符合性。

说明性文件主要为《某型直升机动力系统设计说明》,该文件对某型直升机动力系统的设计进行了详细说明,包括发动机安装、燃油系统、滑油系统、进排气系统等。进气系统部分的设计说明重点介绍了进气管道的设计原理、系统组成等,进气道进口捕获面积比进气道出口(即发动机进口)面积大得多,能够初步表明进气道的设计满足发动机最大进气流量需求。

在飞行试验验证中,申请人主要列举了型号合格审定期间所开展的“某型直升机发动机工作特性飞行试验”情况来表明条款的符合性,该飞行试验在直升机最大空速-侧滑组合、功率恢复、悬停、变总距飞行等条件下检查发动机在各个状态下的工作情况,整个试验过程中发动机均未出现达到危险程度的不利特性,进气系统能够供给发动机所需的空气量。



a) 进气道布置示意图



b) 进气道三维数模

图2 某型直升机进气道示意图

3.3 对比分析

通过以上两个审定案例对比可知,在正常类航空器进气条款的审定实践中,无论是正常类飞机还是正常类旋翼航空器,均采用说明性文件和飞行试验来表明条款的符合性。在说明性文件中,应当对进气道的设计原理和系统组成进行描述,重点需要说明整个管道面积的设计考虑了发动机在各种使用工况下的最大进气流量,由于正常类航空器进气系统的复杂程度差异较大,这部分说明可以是单独的,也可以包含在整个动力系统的设计说明之中;飞行试验验证是进气条款符合性表明重点,通常不需要单独开展飞行试验,一般与动力装置工作特性检查结合进行,在编写条款符合性报告时,也可以引用其他与动力系统相关的飞行试验结论进行辅助说明,但这不是必要的。

4 结论

本文首先对正常类飞机及正常类旋翼航空器进气条款原文及符合性验证方法进行了分析,然后结合具体审定案例对正常类航空器进气条款的适航符合性验证开展了对比研究,研究结果表明:

1) 23部R3版与27部条款原文大致相同,主要差异在于面向正常类旋翼航空器的27部规章没有列出对辅助动力装置进气的要求,另外由于运行场景的复杂性与特殊性,其额外强调了机动飞行条件;

2) 无论是正常类飞机还是正常类旋翼航空器,其进气条款推荐的符合性验证方法均为说明性文件和飞行试验;

3) 进气系统的设计说明性文件应当对设计原理和系统组成等进行详细介绍,在具体型号中,此部分内容可以单独给出,也可以包含在动力系统设计说明文件之中;

4) 进气条款的飞行试验验证通常与动力装置工作特性检查结合进行,如有必要,可以辅助引用其他典型飞行试验结论进行条款的符合性表明。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局航空器适航司. 中国民用航空器适航管理[M]. 北京: 中国民航出版社, 2010.
- [2] 丁相玉, 王云. 航空发动机原理[M]. 第2版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018: 46-47.
- [3] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册 第13册: 动力装置系统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2006: 35.
- [4] 白龙, 刘月平. 航空发动机进气系统结冰适航性条款研究[J]. 燃气涡轮试验与研究, 2013, 26(5): 41-45; 54.
- [5] 董宏清, 陈天杰, 高占平. 直升机进气系统雪天运行适航要求和符合性验证研究[J]. 直升机技术, 2019(2): 68-72.
- [6] 滕攀, 蓝天, 张发富, 等. 民用飞机辅助动力装置进气系统防火适航条款解读及试验研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(1): 145-150.
- [7] 李志平, 王孟琦. 进气畸变下航空发动机失速/喘振适航审定方法[J]. 航空学报, 2015, 36(9): 2947-2957.
- [8] 郭重佳, 傅文广, 孙鹏, 等. 畸变条件下航空发动机喘振/失速适航符合性方法[J]. 航空动力学报, 2022, 37(12): 2875-2886.
- [9] 中国民用航空局. 正常类、实用类、特技类和通勤类

- 飞机适航规定: CCAR-23-R3[S]. 北京: 中国民用航空局, 2004.
- [10] 交通运输部. 正常类旋翼航空器适航规定: CCAR-27-R2[S]. 北京: 交通运输部, 2017.
- [11] 交通运输部. 正常类飞机适航规定: CCAR-23-R4[S]. 北京: 交通运输部, 2022.

作者简介

肖毅 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用航空器

动力装置适航审定。E-mail: xiaoy@jxaacc.org

孙中海 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用航空器动力装置适航审定。E-mail: sunzh@jxaacc.org

李宏 男, 本科, 高级工程师。主要研究方向: 民用航空器适航审定。E-mail: lih@jxaacc.org

曾平君 女, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 飞机进排气系统设计。E-mail: 493168524@qq.com

雷佻钰 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用直升机适航技术。E-mail: leity@avic.com

Airworthiness compliance study of air inlet terms for normal category aircraft

XIAO Yi^{1*} SUN Zhonghai¹ LI Hong¹ ZENG Pingjun² LEI Tiaoyu³

(1. Jiangxi Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Nanchang 330098, China

2. Jiangxi Hongdu Aviation Industry Group, Nanchang 330096, China

3. China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333001, China)

Abstract: Normal category aircraft, including normal category airplanes and normal category rotorcraft, are the main models in the general aviation industry. The engine inlet system is an important part of such aircraft. The quality of its design is related to the normal operation of the engine, which needs to be focused on airworthiness certification. In order to comprehensively study the airworthiness compliance of air inlet clauses for normal category aircraft, the airworthiness standards and recommended compliance verification methods for normal category airplane and normal category rotorcraft were analyzed, and a comparative study was carried out in combination with the airworthiness certification cases of a certain agricultural and forestry airplane and a certain helicopter. The research results show that both normal category airplane and normal category rotorcraft air inlet clauses use explanatory documents and flight tests to indicate compliance. Illustrative documents need to introduce the design principle and composition of the air inlet system. In specific models, this part can be given separately or included in the power system design description document. The flight test verification does not need to be carried out separately, but can be carried out in combination with the inspection of the working characteristics of the power unit. By comparing the validation cases of different models, the compliance verification methods and ideas of air inlet terms for normal category aircraft are given, which can provide reference for the subsequent development and airworthiness certification of similar models in the future.

Keywords: normal category airplane; normal category rotorcraft; air inlet; airworthiness certification; contrastive study

* Corresponding author. E-mail: xiaoy@jxaacc.org