

超声速飞机起降阶段噪声标准分析



杨晓军, 李国良
中国民航大学, 天津 300300

摘要:随着超声速飞机的发展, 现有亚声速飞机起降阶段噪声规章已经无法满足其适航审定要求。结合美国联邦航空局 (FAA) 发布的拟议规则制定通告 (NPRM) 和欧洲航空安全局 (EASA) 发布的拟议修订通告 (NPA) 等文件, 基于规章制定立场和思路、草案差异、技术细节以及超声速新技术等关键要素, 本文对超声速飞机规章的制定进行了综述和总结。结果表明, 在标准制定思路一致的前提下, 美国基于工业方和技术创新的考虑, 在草案中给予了足够的自由度; 欧洲方面为了维持现有环境保护水平, 超声速标准比起美国更加严格和细致。同时, 基于分析结果形成审定要素和方法建议, 为今后我国的超声速飞机起降阶段噪声标准制定和适航审定工作开展提供技术支持。

关键词: 超声速; 适航规章; 噪声; 起降阶段

中图分类号: V271

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2023.03.004

21 世纪, 民航业迈入飞速发展的阶段, 直至今日, 已经成为人们生活中不可或缺的一部分。为达到提高飞行速度, 降低飞行时间, 使出行更加高效快捷的目标, 世界各国纷纷展开对于新一代超声速民机的研发, 并推出各自的超声速概念机, 见表 1。制造商表示, 预计在 21 世纪 20 年代中后期, 超声速民机将会投入使用, 在 2035 年前后新一代超声速民机将会实现商业运营。

表 1 超声速飞机项目^[1]

Table 1 Supersonic aircraft project

超声速机型	巡航 Ma	航程/km	载客量/人	最大起飞重量/kg
Exosonic	1.8	9260	70	
Aerion (AS2)	1.4	8797	19	54884
Boom (XB-1)	2.2	7871	55	139141
Gulfstream (QSJ)	1.8	8890	8	45360
NASA 55t STCA	1.4	7852		55000

在中国科学技术协会发布的 2019 年度 20 个重大科学问题和工程技术难题中, “绿色超声速民机设计技术” 是民航领域唯一入选的, 这也从侧面说明超声速民机发展的必要性和迫切性^[2]。

各国展开相应的技术研发, 确保超声速飞机能够满足

现有的适航审定规章。从噪声的角度而言, 国内外在这方面展开了很多研究。美国国家航空航天局 (NASA) 在超声速项目中要求制造商分别对 N+2 和 N+3 代超声速民机进行概念研究, 实现概念机的低声爆设计^[3]。陈召斌等对超声速飞机总体气动布局设计特点进行了梳理, 为后续工作提供了参考和发展建议^[4]。美国目前正在进行 X-59 的试飞活动, 为适航当局制定标准提供数据支持^[5]。Rallanhaandi 等提出使用改进进化预测理论和计算流体力学 (CFD) 方法进行低声爆和升阻比的优化设计, 实现了低声爆布局的快速优化^[6]。瞿丽霞等基于近场声爆压力信号, 进行不确定度量化分析评估^[7]。国际民航组织 (ICAO) 和美国联邦航空局 (FAA) 介入 NASA 的 LBFDP 项目, 开展超声速飞机适航标准制定研究, 推动超声速飞机技术发展和投入商业运营^[8]。日本 JAXA 近年来开展了 D-SEND 项目, 旨在通过飞行试验研究非对称布局的声爆特性^[9]。中国飞行试验研究院针对某型歼击机, 进行了超低空/高空飞行地面声爆测量的试验^[10]。

在超声速飞机研发过程中, 第一代超声速飞机“协和号”具有较高的参考价值。“协和号”在技术上满足要求, 但在运营上是极度失败的。从适航角度上来讲, 它的噪声是当时的人们所不能接受的, 抛去超声速巡航时的“声爆”不谈, 仅在亚声速起降阶段, 噪声就远远超出了当时 ICAO 规

收稿日期: 2022-10-28; 退修日期: 2023-01-05; 录用日期: 2023-02-07

基金项目: 中国民航大学中央高校基本科研业务费项目 (3122019187)

引用格式: Yang Xiaojun, Li Guoliang. Standard analysis on noise in the take-off and landing stage of supersonic aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2023, 34 (03): 25-32. 杨晓军, 李国良. 超声速飞机起降阶段噪声标准分析 [J]. 航空科学技术, 2023, 34 (03): 25-32.

定的第三阶段噪声限制。“协和号”因为噪声过高,被世界各国禁止飞越领空,只能在海上航线飞行,这些情况间接导致了“协和号”的退役。

随着 Gulfstream、Boom、Aerion、Exosonic 等公司纷纷开展超声速飞机项目,而目前附件 16 卷 I 和卷 II 中的超声速噪声和排放标准都过于陈旧,难以捕捉到技术的最新进展,亟须更新。

本文从超声速飞机起降阶段噪声审定入手,基于 FAA 发布的拟议规则制定通告(NPRM)^[11]、EASA 发布的拟议修订通告(NPA)^[12]以及现有的噪声审定规章^[13-14],对起降阶段超声速飞机的噪声标准进行分析,最终给出了超声速飞机噪声审定规章制定过程中需要考虑到关键要素以及相关的方法和思路,可以为今后国内的标准制定工作提供建议和参考。

1 标准拟议草案

虽然当前诸多项目都在进行中,但超声速飞机一直没有明确的噪声适航审定标准。这也引发了制造商的顾虑,在具体标准确立之前,他们不愿在飞机设计上投入资金进行研发;而相关审定机构在不了解超声速飞机新设计的前提下,无法着手制定标准。在这个前提下,FAA 和 EASA 分别推出了各自的超声速起降阶段噪声标准拟议草案,旨在减少双方信息上的差距。制造商提供机型的设计数据和预期的噪声级范围,审定机构利用这些信息和已进行的工作,对飞机进行起降阶段的噪声限制,实现双方的互利共赢。简言之,超声速飞机起降阶段标准制定这一工作,是在审定机构和工业方等各界人士的共同努力下完成的。

当前,ICAO 正在进行超声速飞机起降阶段噪声标准的制定工作,预计将在 2025 年完成,并将纳入附件 16 卷 I“航空器噪声”中,为 ICAO 各成员国提供指导。

在正式规章出台之前,需要有一套合理且可行的噪声审定规章草案,来帮助完成相关超声速飞机的取证工作。制造商也希望能有翔实可靠的规章作为飞机设计基础,以确保能够符合取证要求。

在这个大前提下,FAA 在 2020 年 4 月发布了 NPRM, EASA 在 2022 年 5 月发布了 NPA,作为超声速飞机起降阶段噪声审定规章的拟议草案。

2 FAA 标准分析

2.1 标准概述

在美国的现行噪声规章 FAR-36 部中,并不包括除“协和号”之外的超声速飞机标准,且这一部分是过时的。FAA

汇总了 NASA 开展的超声速运输概念机(STCA)研究^[15]、工业界提供的信息以及 ICAO 的持续工作^[16]等成果,最终出台了这一份 NPRM 文件。

在这份 NPRM 文件中,FAA 以当前最严格的第 14 章亚声速标准为基础,基于最大起飞重量(质量)和巡航马赫数两个要素对超声速飞机进行分类,对于最大起飞重量不超过 68039kg,最大巡航马赫数不超过 1.8 的超声速飞机制定起降阶段噪声审定标准草案,并将此类飞机命名为第一类超声速(SSL 1)。之所以如此定义,是因为 FAA 预计当前正在开发的大多数超声速飞机都满足这一要求。同时,当马赫数超过 1.8 时,超声速飞机的设计特点将发生变化,进而影响噪声,需要不同的噪声标准和测量程序。现有 NPRM 中的标准只是一个起点,旨在为当前的超声速飞机提供必要的监管。如果 FAA 收到超出 SSL 1 适用范围的超声速飞机审定申请,应以当前草案内容作为起点,展开相关审定工作。

2.2 技术细节

在 NPRM 中,FAA 主要进行了以下几个方面的要求:(1)修改 FAR-36 部部分适用性;(2)强调陆上超声速飞行禁令的效力;(3)修改超声速飞机(除“协和号”飞机之外)的定义;(4)提供用于超声速飞机的噪声审定参考程序;(5)建立用于第一类超声速(SSL 1)飞机的起降噪声限值。

拟议草案由第 14 章噪声级和现有参考程序发展而来,但是又有所不同,其差异主要体现为超声速飞机的独特技术和设计要求,以维持超声速飞机的长距离飞行。FAA 在制定标准草案的过程中,主要从新标准的适应性和工业方的角度来考虑,在现有亚声速噪声标准的基础上做出了一定的妥协。图 1 中给出了 2010—2020 年取证的部分机型噪声级,以及 FAA 预测的 2034 年亚声速飞机和超声速飞机的噪声级,预计到 2034 年亚声速机队的平均审定噪声级为 267.0EPNdB,超声速飞机(双发)的预期审定噪声级为 269.3EPNdB,超声速飞机(三发)的预期审定噪声级为 274.5EPNdB。根据 FAA 的预测,虽然超声速飞机的噪声级与亚声速机队平均噪声级差异较大,但超声速飞机的占比很小(3%以下),因此对环境的影响是可接受的^[11]。

在拟议草案中,FAA 依照长期以来的噪声审定方法,使用最大起飞重量与噪声的相关性来评估超声速飞机,并使用一套新的噪声标准来考虑亚声速和超声速之间的设计差异。同时,保持了传统的监管框架和大部分亚声速飞机测试要求,包括测量方法、数据评估、基准/试验程序、参考大气条件和结果修正等。通过以上条款,可以保证超声速飞机与亚声速飞机的噪声级存在可比性。

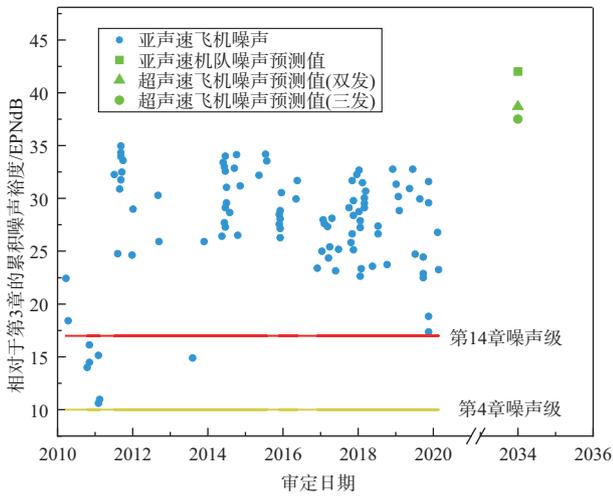


图1 随审定时间变化的相对于规章的累积噪声裕度

Fig.1 Evolution of cumulative margin to chapter 3 against certification date

由于超声速飞机在起降阶段(LTO循环)仍然需要以亚声速进行飞行,因此亚声速相关的监管框架在进行技术调整后仍然可以适用于超声速。所以,超声速飞机起降噪声的评价指标仍然采用有效感觉噪声级(EPNdB)。

在超声速飞机起飞过程中,其较高推力和较低的发动机涵道比都会导致较高的飞机噪声级。为了解决这一问题,FAA提出可变降噪系统(VNRS)和程序直减率(PLR),允许将其加入拟议草案中,作为起飞参考程序的一部分^[17-18]。将VNRS和PLR纳入拟议草案中,旨在为制造商在设计飞机的过程中提供最大的灵活性。

2.3 标准制定和进展

FAA和运输部(DOT)当前致力于推进民用超声速飞机的发展。FAA启动了两项关于超声速飞机噪声的规则制定行动。第一项是超声速飞机噪声审定的拟议草案,即本文提及的NPRM。第二项是简化和明确获得在美国进行超声速飞行测试的特殊飞行授权的拟议规则,以实现对于美国陆上超声速飞行禁令的豁免。这两项与超声速飞机噪声审定相关的规则制定行动将会作为未来超声速飞机噪声审定规章的基础,进一步推动标准的发展。

FAA与其他国家的航空当局展开合作,并在ICAO的CAEP内参与超声速飞机噪声和排放标准的制定,以便在将来积极推动新标准在国内的贯彻和施行。

3 EASA标准分析

3.1 标准概述

EASA现行的噪声规章是直接引述附件16卷I的条款,

其在2022年5月出台了关于《超声速飞机的环境保护要求》的NPA,旨在没有相应的超声速审定规章的前提下,确保欧洲的环境保护水平。

当前的拟议修订通告还处于草案状态,EASA计划使用定性/定量输入,关注相关项目,制定监管影响评估(RIA)并将其纳入之后的NPA中。在必要的情况下,可以安排利益相关方和技术专家讨论,对NPA进行完善,整体超声速适航规章的制定过程如图2所示。

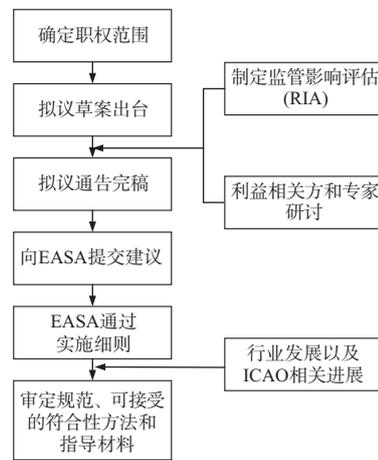


图2 超声速飞机审定规章制定思路

Fig.2 The idea of formulating certification regulations for supersonic aircraft

对于起降阶段的噪声限值,超声速飞机的噪声限值与第14章噪声级相同。超声速飞机和亚声速飞机之间的设计不同导致的差异,如不同的运行速度范围,在噪声测量参考程序中予以考虑。此外,与FAA相同,EASA在制定NPA的过程中也考虑使用可变降噪系统(VNRS)和程序直减率(PLR)的可能,允许超声速飞机以特定的起飞程序进行噪声审定^[19]。

3.2 标准制定和进展

EASA与ICAO在适航规章上保持高度一致,很多审定规章直接引述ICAO的规章。在制定超声速飞机噪声审定标准的过程中,EASA通过NPA、指导材料(GM)、可接受的符合性方法(AMC)、意见—回复文件(CRD)以及向欧盟提交报告等手段,将各项监管程序与ICAO的相应程序保持一致,避免其条款适用性与ICAO之间存在差异。

EASA在2022年4月的NPA中提出,禁止飞机在欧盟领土上空进行超声速飞行活动,如果未来超声速飞机的“声爆”可以满足环保要求时,该项禁令可能会被修订。欧洲目

前开展多项关于超声速飞行的研究项目,来为标准的制定提供数据支撑。同时,EASA与ICAO合作,参与超声速飞机噪声和排放标准的制定。基于两方之间的密切关联,一旦标准制定完成,EASA可以很快将规章贯彻落实。

4 两种标准草案对比

无论是FAA的NPRM,还是EASA的NPA,对于超声速飞机的概念和初步草案要求都是基于现有亚声速飞机的技术细节来进行的,对亚声速飞机的现有审定要求进行了调整来反映超声速飞机的具体情况,同时尽可能保证指标和程序方面的兼容性。图3给出了两项超声速噪声标准草案中与原有的亚声速噪声审定规章中的异同,其中的“其他条款”指的是规章正文中添加的表明超声速飞机规章符合性的管理类条款。

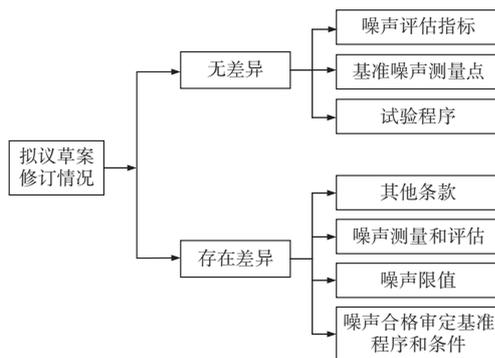


图3 拟议草案与亚声速规章对比

Fig.3 Comparison between proposed draft and subsonic regulations

本节从两项拟议草案各条款之间是否存在差异以及其与亚声速噪声审定条款之间的关联入手,对现有超声速标准草案进行分析。

4.1 噪声测量和评估

EASA和FAA草案中的此条款均是引用自亚声速噪声审定规章中,但适用性存在差异。EASA的草案适用于所有的超声速飞机,不对发动机数量、最大起飞重量和设计速度进行限制。而FAA的草案目前只适用于第一类超声速(SSL1)飞机,即“最大起飞重量不超过68039kg,最大巡航马赫数不超过1.8的超声速飞机”,且草案只适用于双发(或更少)和三发的飞机。

4.2 噪声评估指标

由于超声速飞机起降阶段仍保持着亚声速状态,因此在EASA和FAA的草案中采用与亚声速噪声相同的评估指

标,即EPNdB。它是在纯音修正的基础上再进行噪声持续时间的修正,噪声持续时间随航空器的类型和运行模式的不同而变化,可以表征航空器一次运行所发出的噪声在地面上某个位置的噪度。超声速飞机起降阶段和亚声速噪声评估指标保持一致,可以表征亚声速和超声速飞机之间噪声级的可比性。

4.3 噪声测量点

关于基准噪声测量点和试验噪声测量点这两项条款,EASA和FAA引用各自的亚声速噪声审定规章内容,如图4所示。这样可以保证亚声速和超声速飞机在噪声符合性试验中保持一致性,并使不同型号的飞机在不同的地理位置上具有可比性。

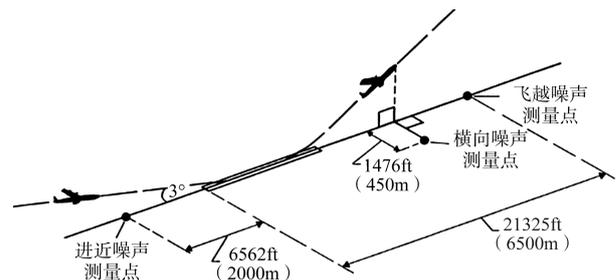


图4 噪声合格审定基准噪声测量点位置

Fig.4 Location of reference noise measurement points for noise certification

4.4 噪声限值

在EASA的拟议草案中,超声速飞机在经过噪声合格审定试验后计算得到的最大噪声级与第14章噪声级保持一致。这样旨在维持目前欧洲的环境保护水平,并确保亚声速和超声速之间的公平竞争关系。

FAA在拟议草案中,考虑到工业方的影响和超声速飞机自身设计问题,建议超声速飞机的噪声限值介于亚声速喷气式飞机的第14章标准和第4章标准之间,且对于飞越噪声级只考虑了双发(或更少)和三发的情况。

在第14章标准的条款中,要求横向、飞越和进近各点的噪声级与最大噪声级的差值之和不得小于17EPNdB,而FAA的拟议草案中的要求是“不得小于13.5EPNdB”。美国和欧洲在最大噪声级的问题上之所以存在如此大的分歧,是因为他们对待超声速飞机的态度不同。美国更多的是基于技术可行性以及工业方接受能力的思路来对规章进行调整,而欧洲是为了维持现有的环境保护水平,确保超声速飞机和亚声速飞机能够保持公平的竞争水平^[20]。图5中是FAA和EASA给出的超声速飞机最大噪声级的对比,在最大起飞重量小于8618kg的情况下,FAA和EASA的拟议草

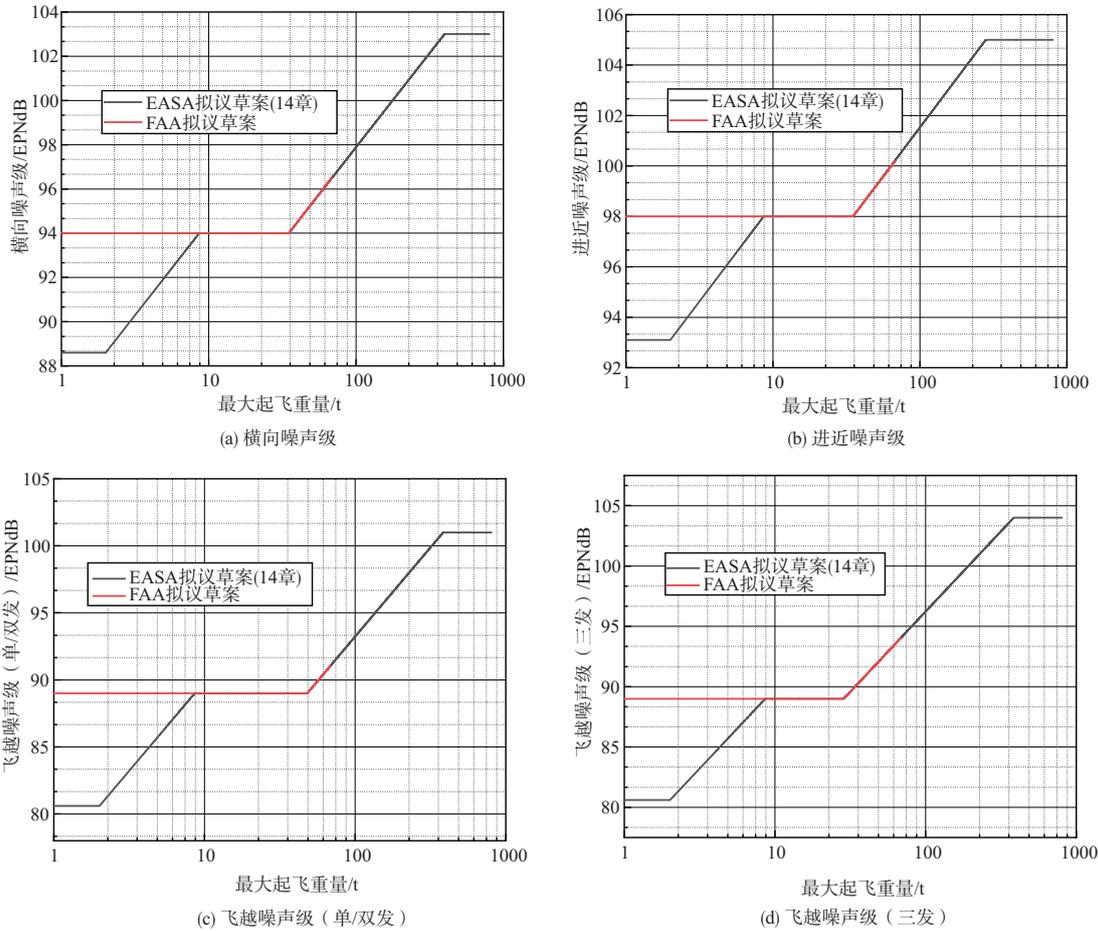


图5 FAA和EASA拟议草案中最大噪声级差异

Fig.5 Difference in maximum noise levels in FAA and EASA proposed drafts

案给出的噪声限值存在差异,但现有超声速概念机的最大起飞重量均远超过8618kg,因此FAA和EASA所给出的噪声限值可以看作一致。

4.5 基准程序和条件

关于噪声合格审定基准程序和条件,现有规章中将其分为三部分,分别是通用条件、起飞基准程序和进近基准程序。在拟议草案中,FAA和EASA均对起降基准程序进行了解析,拆分为带有VNRS的起降基准程序和无VNRS的起降基准程序两部分。在通用条件部分,EASA和FAA引用了现有噪声审定规章的内容,没有进行修改,两方主要的分歧集中在起降基准程序上。

4.5.1 无VNRS的起降基准程序

这一部分属于规章中的原有部分,规定了用于噪声测量的飞机飞行轨迹、飞机配置、推力和速度等要求。FAA和EASA根据超声速飞机和亚声速飞机之间的设计差异,在

起降基准程序中予以考虑,主要体现在起飞基准程序中。

FAA的拟议草案中,由于SSL 1只包括双发(或更少)和三发的超声速飞机,因此只给出了这两种类型飞机的起飞基准航迹。对于起飞基准速度,FAA和EASA都在原有基础上有所增加。FAA的草案中并没有给出确切的范围,只要求起飞基准速度不得超过463km/h,在极大程度上保证制造商设计飞机的自由度。EASA的草案中给出了明确的规定,起飞基准速度应在 $V_2 + 65\text{km/h}$ 至 $V_2 + 102\text{km/h}$ 之间(V_2 为安全起飞的最小空速),同时应保证起飞基准速度不超过463km/h。

4.5.2 带有VNRS的起降基准程序

在FAA和EASA的拟议草案中,允许VNRS用于噪声审定测试,该系统用于超声速飞机的整体特征或子系统设计,用于降低飞机的噪声。VNRS包括程序直减率(PLR)和程序飞机配置变更。

PLR可以做到完全自动化,作为发动机额定推力结构的一部分被集成到发动机全权限数字式电子控制(FADEC)中。从起飞到PLR的推力转换通过FADEC进行,FADEC包含了对于高度、温度和发动机减推力运行的所有工作内容,以确保PLR运行的一致性以及降低飞机在日常运行过程中的噪声影响。程序飞机配置变更与PLR相似,实现了全自动化,不同之处在于其被整合到了飞机飞行管理系统(FMS)中。通过FMS管理控制面的自动移动和飞机配置的改变,作为既定运行程序的一部分,以确保降低飞机在日常运行过程中的噪声影响。

在FAA的拟议草案中,给出了带有VNRS的基准起降程序来替换基准起降程序,条款结构和技术细节与超声速飞机基准起降程序一致,区别在于强调了VNRS的适用性。而在EASA的拟议草案中,只考虑了VNRS在起飞阶段的噪声优化,认为超声速飞机在进近状态下采用VNRS是无意义的,因此只设立了带有VNRS的起飞基准程序,并没有考虑进近阶段VNRS的使用。如果VNRS在审定时作为飞机设计的一部分提交,则在进行试验之前,需要在申请方的参考程序中说明,并由审定机构审查和批准。

同时,需要注意的是,在对噪声数据由试验条件向基准条件修正的过程中,一般存在简化修正和综合修正两种方法。如果在试验过程中采用了VNRS,则应始终保持使用综合修正方法。简化修正方法无法提供足够的噪声数据处理保真度,而综合修正方法可以准确解释VNRS的动态方面^[13]。

4.6 试验程序

试验程序中包括噪声测量条件和基准程序之间的偏差规定以及此类偏差的限值,在FAA和EASA的拟议草案中,关于试验程序的内容保持一致,均引用了原来的规章。

5 超声速飞机起降阶段噪声标准制定分析

在工业方和欧美各国的推动下,ICAO开始了超声速飞机噪声审定标准的研究工作,评估了可能的环保评价指标以及超声速飞机引入后对机队环境趋势的影响。

在标准研究的过程中,欧洲和美国的审定机构产生了很大的分歧。美方更多的是从技术可行性上考虑,保证新的标准是工业方可以接受的。欧洲方面认为应该保证超声速飞机和亚声速飞机的公平竞争环境,维持欧洲现有的环境保护水平。欧方提出应该在技术成熟度达到一定程度时,即研制出原型机后才能开展标准制定工作,上述要求受到了美方和工业方的反对,其主要理由是应该鼓励技术创

新,环保标准的制定应该基于数据驱动,而不是预设的监管要求。在美方和工业方的资源支持下,陆续采用NASA的超声速验证机^[21]及建模结果对相关评价指标^[22]和测试程序进行了分析,并在一定程度上解决了欧方提出的疑虑。

超声速飞机噪声标准的制定主要包括起降阶段噪声标准和巡航噪声标准,当前工作主要围绕着起降阶段噪声标准来进行。由于超声速飞机在起降阶段(LTO循环)仍然需要以亚声速进行飞行,因此亚声速相关的监管框架在进行技术调整后仍然可以适用于超声速。基于这个理念,美国和欧洲分别启动了超声速起降噪声标准制定的立法程序,发布各自的拟议草案。

欧方和美方在草案上的最大差异主要集中在飞机起飞速度和PLR的使用上。对于飞机起飞时的速度,FAA并没有给出明确的限制,只要求不得超过463km/h,美方认为这样可以在实现最低噪声的前提下最大限度保持制造商的设计灵活性;EASA认为设计上的灵活性并不重要,对于起飞速度施加限制是一项很有必要的工作。对于PLR的使用,EASA和FAA的争议在于是否需要对PLR施加限值,如对PLR最大推力减少的限制。

ICAO对应的环保规章是《国际民用航空公约》的附件16,其中噪声规章属于附件16的卷I“航空器噪声”部分,由ICAO下属的航空环境保护委员会(CAEP)来修订和维护。附件16对于噪声适航审定具有重大意义,ICAO各成员国在制定标准时或直接或间接地引述了这些标准,美国在制定FAR 36部时间接引用了附件16卷I,与其技术细节保持一致,EASA在CS 36部中则是直接引述附件16卷I的规定。

当前CAEP正在推动超声速飞机起降阶段噪声标准的制定工作,征求欧美各方意见,邀请工业方、环保方、航空公司、审定机构和机场方等展开讨论^[20,23]。因此,虽然欧美当前对于超声速飞机起降阶段的噪声审定标准存在分歧,但最终会通过ICAO的环境保护委员会协商统一。当前,ICAO的超声速飞机标准制定计划如下:(1)CAEP计划在CAEP/13(2022—2025年)期间完成超声速起降阶段噪声审定标准的制定工作,并在标准正式生效之后给ICAO各成员国预留三年时间来更新各自的国内规章。(2)对于超声速巡航阶段噪声标准,当前技术成熟度较低,在CAEP/13周期内以监控研究为主。CAEP计划在CAEP/14(2025—2028年)期间完成超声速巡航阶段噪声审定标准的制定工作。

6 结论

距离超声速民机真正投入商业使用,还有很长的一段

路要走,需要克服噪声、排放和燃油消耗等一系列问题,从噪声审定的角度而言,还有很多工作需要进行。本文的主要结论如下:

(1) 欧美对于超声速飞机的核心思想在草案中得到了体现,欧洲方面强调环境要求不能降低,应当保证超声速和亚声速飞机之间的公平竞争;美国在当前草案的监管架构之下,更多的是从工业方的角度来考虑,鼓励技术创新。

(2) 基于现有的超声速起降阶段噪声草案进一步完善,就草案之间差异部分达成共识,形成一套针对超声速飞机起降阶段行之有效的噪声审定标准。

(3) 超声速飞机起降阶段和巡航阶段噪声标准并不是孤立的,二者相互关联。在完善起降阶段噪声标准之后,需要结合超声速飞机特点和起降阶段噪声标准,推动巡航阶段噪声标准制定。

(4) 国内需要对超声速飞机标准制定进程进行深入研究,熟悉相关技术细节,做好规章更新以及审查任务的准备。

AST

参考文献

- [1] 杨晓军,周昊旻,李国良. 超声速飞机噪声合格审定标准制定中的关键要素分析[J]. 航空科学技术, 2021, 32(10):26-31.
Yang Xiaojun, Zhou Haomin, Li Guoliang. Analysis of key elements in the establishment of supersonic aircraft noise certification standards[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021,32(10):26-31. (in Chinese)
- [2] 徐悦,韩忠华,尤延铖,等. 新一代绿色超声速民机的发展现状与挑战[J]. 科学通报, 2020, 65(Z1):127-133.
Xu Yue, Han Zhonghua, You Yancheng, et al. Progress and challenges of next generation green supersonic civil aircraft [J]. Chinese Science Bulletin, 2020,65(Z1):127-133. (in Chinese)
- [3] Welge H, Nelson C, Bonet J. Supersonic vehicle systems for the 2020 to 2035 timeframe[C]//28th AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2010: 4930.
- [4] 陈召斌,廖孟豪,李飞,等. 高超声速飞机总体气动布局设计特点分析[J]. 航空科学技术, 2022, 33(2):6-11.
Chen Zhaobin, Liao Menghao, Li Fei, et al. Analysis of design characteristics of overall aerodynamic layout of hypersonic aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022,33(2):6-11. (in Chinese)
- [5] Downs R, Page J, Durrant J T, et al. Sonic boom measurements: Practical implications considering ground effects, microphone installation, and weather hardening[J]. JASA Express Letters, 2022, 2(10): 104001.
- [6] Rallabhandi S K, Mavris D N. Sonic boom minimization using inverse design and probabilistic acoustic propagation[J]. Journal of Aircraft, 2006, 43(6): 1815-1828.
- [7] 瞿丽霞,徐悦,韩硕,等. 典型声爆研究模型近场预测统计量化分析评估[J]. 航空科学技术, 2021, 32(4):14-21.
Qu Lixia, Xu Yue, Han Shuo, et al. Quantitative statistical analysis of near field sonic boom prediction on typical research models[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021,32(4):14-21. (in Chinese)
- [8] Marshall A J. Development of a model of startle resulting from exposure to sonic booms[D]. Purdue University, 2012.
- [9] Kawaguchi J, Suzuki H, Ninomiya T, et al. Post-flight evaluation of the guidance and control for D-SEND# 2 2nd drop test[C]//AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, 2017: 939.
- [10] 宋亚辉,樊高宇,瞿丽霞,等. 航空器声爆飞行试验测量技术研究进展概述[J/OL]. 航空学报. (2022-11-27). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20220507.1534.006.html>.
Song Yahui, Fan Gaoyu, Qu Lixia, et al. Progress of aircraft sonic boom flight test measurement technology: Review[J/OL]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. (2022-11-27). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20220507.1534.006.html>. (in Chinese)
- [11] FAA. RIN 2120-AL29 Notice of proposed rulemaking (NPRM): Noise certification of supersonic airplanes[S]. American: FAA, 2020.
- [12] EASA. RMT. 073 Advance notice of proposed amendment (NPA): Environmental protection requirements for supersonic transport aeroplanes[S]. European: EASA, 2022.
- [13] ICAO. Annex 16 to the convention on international civil aviation environmental protection, volume I-aircraft noise[S]. ICAO, 2017.
- [14] 中国民用航空局. CCAR-36-R2: 航空器型号和适航合格审定噪声规定[S]. 中国: 中国民用航空局, 2017.
CAAC. CCAR-36-R2: Noise standards: Aircraft type and airworthiness certification [S]. China: CAAC, 2017. (in Chinese)
- [15] Berton J J, Huff D L, Geiselhart K, et al. Supersonic technology concept aeroplanes for environmental studies[C]//AIAA Scitech 2020 Forum, 2020: 263.

- [16] Kopiev V F, Belyaev I V, Dunaevsky A I, et al. On the fundamental possibility of a supersonic civil aircraft to comply with ICAO noise requirements using existing technologies[J]. *Aerospace*, 2022, 9(4): 187.
- [17] Voet L, Speth R L, Sabnis J S, et al. On the design of variable noise reduction systems for supersonic transport take-off certification noise reduction[C]//28th AIAA/CEAS Aeroacoustics 2022 Conference, 2022: 3052.
- [18] Nöding M, Schuermann M, Bertsch L, et al. Simulation of landing and take-off noise for supersonic transport aircraft at a conceptual design fidelity level[J]. *Aerospace*, 2021, 9(1): 9.
- [19] Doc 9501 Environmental technical manual volume I, procedures for the noise certification of aircraft third edition [S]. ICAO, 2018.
- [20] The European aviation environmental report 2022[EB/OL]. (2022-09-21). <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer>. EASA.
- [21] Berton J J. Aircraft noise and performance data for a notional supersonic business jet[C]//28th AIAA/CEAS Aeroacoustics 2022 Conference, 2022: 3078.
- [22] Loubeau A. Review of noise metric sensitivities for analysis of quiet supersonic overflight[C]//182nd Meeting of the Acoustical Society of America, 2022.
- [23] The ICAO environmental report 2022[EB/OL]. (2022-09-24). <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2022.aspx>. ICAO.

Standard Analysis on Noise in the Take-off and Landing Stage of Supersonic Aircraft

Yang Xiaojun, Li Guoliang

Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China

Abstract: With the development of supersonic aircraft, the current noise regulations for the landing and take-off phase of subsonic aircraft can no longer meet the requirements of airworthiness certification. Combining with documents such as the Notice of Proposed Rule Making (NPRM) issued by the Federal Aviation Administration (FAA) and the Notice of Proposed Amendments (NPA) issued by the European Aviation Safety Agency (EASA), this review and summary of the development of supersonic aircraft regulations is based on key elements including regulation-making position and ideas, differences in the drafts, technical details and new supersonic technologies. The results show that, while the standards are formulated with the same intention, the United States has given sufficient freedom in the draft from the perspective of manufacturers and technology innovation; The European standard for supersonic is more stringent and detailed than the United States in order to maintain the current level of environmental protection. At the same time, the results of the analysis will formulate certification elements and methods suggestions, which will provide technical support for the future development of noise standards and airworthiness certification for supersonic aircraft landing and take-off phase in China.

Key Words: supersonic; airworthiness regulation; noise; landing and take-off phase

Received: 2022-10-28; **Revised:** 2023-01-05; **Accepted:** 2023-02-07

Foundation item: Fundamental Research Funds for Central Universities, Civil Aviation University of China (3122019187)