

美国超声速公务机研究进展与发展趋势

陈黎*, 杨新军

中国商飞北京民用飞机技术研究中心 发展规划部, 北京 102221

摘要: 综述了美国NASA超声速客机发展的“三步走”战略, 分析了近年来美国超声速公务机发展的时代背景, 并介绍美国超声速公务机的发展现状, 最后提出了超声速公务机的发展趋势。

关键词: 发展现状; 发展趋势; 发展战略; 超声速公务机; NASA

中图分类号: V27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 01-11-5

为了抢占世界民机技术发展的制高点, 维持美国在相关领域的领先地位, 美国宇航局(NASA)近年来已经着手研究未来民机的长远发展问题, 并对今后20~30年内先进民机(包括亚声速和超声速两类飞机)的发展做了规划, 将其按时间顺序分为N+1、N+2和N+3三个阶段(即三代)。其中N表示当前(N即Now), N+1、N+2、N+3分别代表近期目标(时间在2015年)、中期目标(时间在2020~2025年)和远期目标(时间在2030~2035年)。从这一“三步走”发展战略出发, NASA将未来N+1、N+2和N+3代超声速客机分别定位为超声速公务机、小型超声速客机和大型超声速客机, 并且各代飞机的平台性能指标和需满足的节能环保标准将逐步提高。其中的N+1代超声速喷气公务机(SSBJ)作为NASA整个超声速客机发展“三步走”战略中首要和关键的一步, 日益引起美国国内各界的关注和重视。美国超声速公务机也迎来了一个新高潮^[1-3]。

1 研发背景

美国在超声速民用运输机研究领域具有悠久的历史, 最早甚至可追溯到20世纪50年代初。但是出于对未来民用航空运输市场的定位以及与潜在对手竞争等原因, 多年来美国一直专注于高速大型超声速客机的发展。例如上世纪

60~70年代, 与欧洲“协和”和前苏联图-144同期推出的波音2707超声速客机方案(后于1971年下马)就被要求载客量(达到250人, “协和”仅为100~140人)、航程(可飞越太平洋, “协和”仅能勉强飞越大西洋)和巡航速度(达到Ma2.7, “协和”仅为Ma2.04)等性能指标全面超越竞争对手。直至20世纪90年代, NASA实施的“高速研究/高速商用运输机”(HSR/HSCT, 后于1999年被取消)计划方案仍被定位为一种巡航速度Ma2.4、300座级、航程可横跨太平洋的大型超声速客机^[1-2]。

然而, 包括美国在内的世界各国多年来的研究结果表明, 当初导致“协和”、图-144等第一代超声速客机“技术成功, 商业失败”的两大主要原因是经济性和环保性差。这个问题直到今天仍然没能得到妥善解决, 反而随着人们节能环保意识的不断增强, 显得比以前更为突出。在这样的背景下, 要想使新一代超声速客机在具备与同代远程亚声速客机相当的航程、载客量等指标的同时, 还能满足各国在油耗、噪声、声爆、氮氧化物(NO_x)排放等方面提出的日趋严格甚至苛刻的要求, 仍存在着难以克服的巨大技术障碍。若近期内适当放宽新机的部分性能指标要求, 先行发展一种尺寸重量相对较小、速度也相对较慢的超声速客机, 所面临的技术困难则小得多。以超声速客机最引外界关注、并且亟

收稿日期: 2013-08-26; 录用日期: 2013-10-03

*通讯作者。 Tel.: 010-57808191 E-mail: mig2131@163.com

引用格式: CHEN Li, YANG Xinjun. Research progress and development trends of U.S. supersonic business jet[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(1): 11-15. 陈黎, 杨新军. 美国超声速公务机研究进展与发展趋势[J]. 航空科学技术, 2014, 25(1): 11-15.

待解决的声爆问题(否则将不被允许在大陆、尤其是居民区上空飞行)为例,在低速小型飞机上解决就比快速大型飞机更加容易。因为研究表明,声爆强度一方面与飞机的速度有关,同等技术条件下飞机速度越快,产生的声爆也相应地越强烈;另一方面也和飞机的大小(这涉及到飞机的载客量、航程等性能指标)密切相关,同等飞行条件(速度、高度等)下小型飞机产生的声爆远比大型飞机轻微。不仅如此,当飞机的大小、速度等指标降下来后,其油耗、噪声、NO_x排放等问题也更易解决,对气动外形、结构材料、动力装置等要求也相应地会降低,这将有助于进一步降低技术难度,并减少研制成本^[1-3]。

有鉴于此,NASA开始将近期的关注重点逐步转向较小、更安静、更清洁并且更高效的超声速客机,尤其是巡航速度Ma1.6~1.8甚至更低的中、小型超声速公务机,而将发展

高速大型超声速客机的目标推迟到更长远的未来去实现。从这一思想出发,NASA为今后超声速客机发展制订了一条“由小到大(公务机→小型客机→较大型客机)、由慢到快(Ma1.6~1.8→Ma2→更高)、由近到远(航程跨大西洋→跨太平洋)”的技术途径,希望通过N+1、N+2和N+3代飞机“三步走”、分阶段实现多年来的超声速客机发展目标。此基础上,NASA相应地制订了各代飞机需达到的初始技术指标,如表1所示^[1-3]。

从2005年开始,美国工业界在NASA的主导下,开始按照上述“三步走”发展战略对未来超声速客机的概念方案及关键技术展开新一轮评估研究,其中N+1代超声速公务机的相关研究工作主要由湾流(Gulfstream)、AERION航空技术和超声速航宇国际(SAI)等公司负责,而以波音和洛克希德·马丁公司为首的两个研究团队(其成员均来自美国工业界和

各大学)则同时展开了N+2/N+3代超声速客机的概念研究。目前,上述研究工作已经取得了很大进展,并获得了相当的技术成果。尤其是N+1代超声速公务机的相关技术正日益成熟,按照美国媒体的乐观估计,在今后10年内将会有实用的超声速公务机投入市场。

2 研究进展

美国对超声速公务机的探索已超过10年,其中部分概念方案在NASA提出其N+1代超声速公务机发展计划之前就已经提出。这类飞机以湾流公司近年推出的“安静超声速喷气机”(Quiet Supersonic Jet,QSJ)为典型代表,Aerion公司研制的“超声速喷气公务机”(Supersonic Business Jet,SBJ)和SAI公司研制的“安静超声速运输机”(Quiet Supersonic Transport,QSST)也属于这一类型,这三种飞机在设计上各有特色^[1-2,4-5],其主要性能参数见表2。

2.1 湾流公司QJSJ超声速公务机

湾流公司QJSJ超声速公务机的突出特点是采用了民用飞机上非常罕见的可变后掠翼布局,见图1。按照湾流公司的评估,采用可变后掠翼布局尽管会增加飞机的结构重量,但其带来的好处却更多:一方面可降

表1 NASA未来超声速客机发展战略

Table 1 NASA's development strategy of future SBJ

发展阶段	N+1(2015年)	N+2(2020~2025年)	N+3(2030~2035年)
飞机类型	超声速喷气公务机	小型超声速客机	大型超声速客机
巡航速度(Ma)	1.6~1.8	1.6~1.8	2.0; Ma1.6~2.0 (低声爆持续飞行速度)
航程(km)	7408(跨大西洋)	7408(跨大西洋)	11112(跨太平洋)
载客量(人)	6~20	35~70	100~200
声爆强度(PLdB)	65~70	65~70	65~70(低声爆条件下飞行); 75~80(无限制条件飞行)
机场噪声(EPNdB) (满足FAA第三阶段 噪声标准)	10	10~20	20~30
巡航飞行时排放 (克NO _x /千克燃油)	与目前的亚声速 飞机相当	<10	<5; 颗粒物和 wat 蒸气排放同时减少
油耗 (旅客英里/磅燃油)	1.0	3.0	3.5~4.5

表2 当前在研的美国三种超声速公务机主要技术性能

Table 2 Major characteristics of the three types of U.S. SBJ under development

	湾流公司QJSJ	Aerion公司SBJ	SAI公司QSST
机长(m)	—	45.2	40
起飞重量(kg)	45400	40860	69462
载客量(人)	15	8~12	8~12
巡航速度(Ma)	1.8	1.5~1.6; Ma1.1~1.2(无声爆飞行持续巡航速度)	1.6~1.8
航程(km)	8890	7408	7408

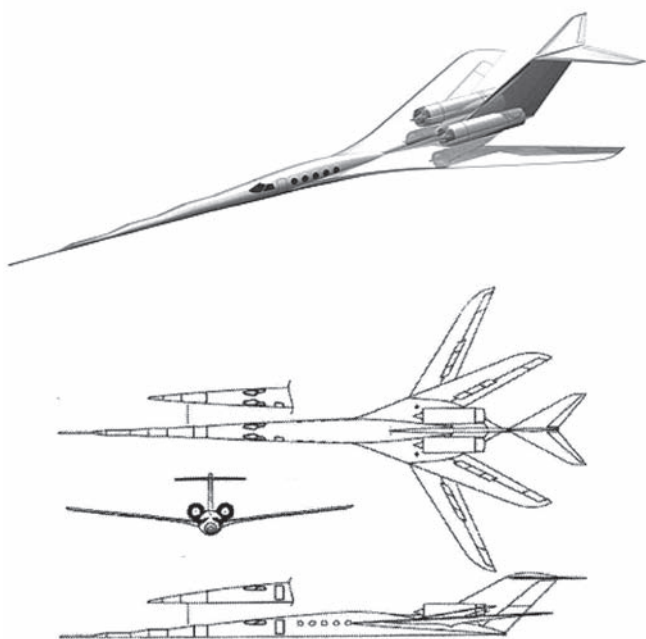


图1 QSJ超声速公务机外形图及三视图

Fig.1 Profile and three views of QSJ

低飞机对机场跑道长度的要求,使其能够在通常适合亚声速喷气机起降的机场(跑道长1800m左右)使用;另一方面通过改变机翼后掠角和翼尖形状,还有助于降低飞机噪声^[2-3]。

为了在声爆强度方面满足要求,湾流公司根据近年与NASA合作实施的“安静长钉”(Quiet Spike)计划的研究成果,拟在飞机头部加装一套声爆抑制装置(一根可伸缩的矛状尖头长杆),可将飞行中产生的强激波分解为三道在空间中相互平行传播的弱激波从而降低声爆强度。与此同时,该机还采用了特殊设计的进气道,能够在不影响发动机工作效率和增加飞行阻力的前提下,减轻声爆并降低噪声。此外,该机今后还可能配装由通用电气公司研制的变循环发动机,可使飞机在起降、加速、亚声速和超声速等各种飞行状态下的性能得到兼顾,届时其油耗、噪声和声爆等指标还将相应地进一步改善^[3-5]。

到目前为止,湾流公司QSJ超声速公务机研究计划已实施10余年,但由于技术障碍以及对未来市场前景展望方面的原因,该机预计要到2020年左右才能面世。

2.2 Aerion公司SBJ超声速公务机

目前,Aerion公司正在研制的SBJ超声速公务机采用了“梯形主翼+倒T形尾翼”的正常式布局,见图2。该机引人注目之处在于其没有沿用超声速飞机上常见的后掠翼或三角翼,而是在Aerion公司的超声速“自然层流”(Natural Laminar

Flow,NLF)技术基础上,采用了一种相对厚度和展弦比较小的梯形平直机翼(其外形有些类似著名的F-104战斗机)。这种布局不仅有助于减小机翼外形尺寸、减轻结构重量、提高副翼效率、降低飞行阻力,更重要的是使飞机在具备较好的超声速飞行性能的同时,兼顾了跨声速和低速飞行性能,当其以 $Ma0.9 \sim 1.1$ 的速度飞行时,可保持与 $Ma1.6$ 超声速巡航飞行时同样高的气动效率,并且可以在通常适于亚声速飞机使用的机场跑道上起降^[1-4]。

由于以上原因,再加上SBJ特地选择了相对较低的巡航飞行速度(其无声爆飞行持续巡航速度为 $Ma1.1 \sim 1.2$,尽管此时较其它超声速公务机巡航速度慢,但是仍比普通亚声速喷气公务机快1/3左右),因而其声爆、噪声、油耗等指标更易于控制,并且机体无需大量使用昂贵的耐高温材料,对动力装置的性能要求也大大降低(选用了成熟货架产品——曾大量用于波音737、MD80等飞机的普惠公司JT8D-219发动机的改进型)。综合考虑上述因素后,该机在产品技术难度、研制开发费用和日常使用成本(Aerion公司称,该机单位海里使用成本接近目前的大型亚声速喷气公务机)等方面,较同类飞机有明显的优势^[3-5]。

根据Aerion公司目前的计划,SBJ将于2019年完成首飞,2021年后推向市场。

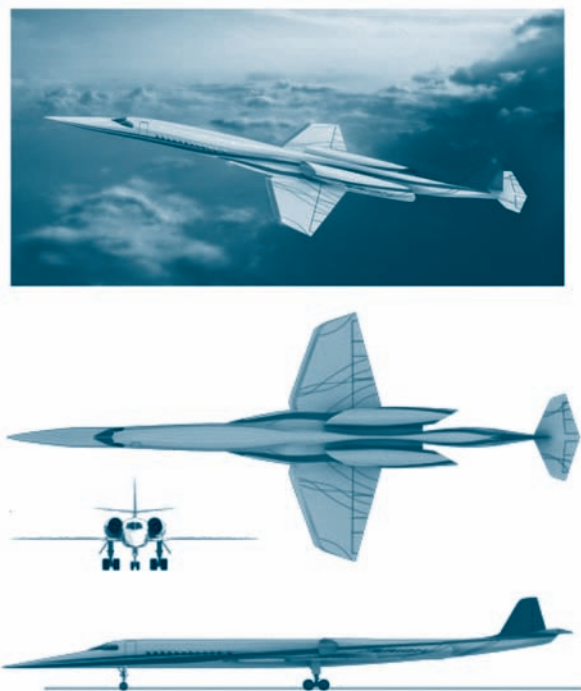


图2 SBJ超声速公务机外形图及三视图

Fig.2 Profile and three views of SBJ

2.3 SAI公司QSST超声速公务机

SAI公司的QSST超声速公务机是与洛克希德·马丁公司下属的“臭鼬”工厂合作开发的,该机采用了“鸭翼+箭形主翼+尾翼”的三翼面布局,其海鸥式主翼安装位置较高,带前掠角的尾翼呈独特的倒V形,并且在靠近主翼后缘处与其保持联接,二者在共同构成类似盒式机翼结构的同时,还可为发动机提供支撑,见图3。为了保证方向稳定性,在倒V形尾翼的正中还设置有一个短而宽的垂直安定面^[2-4]。

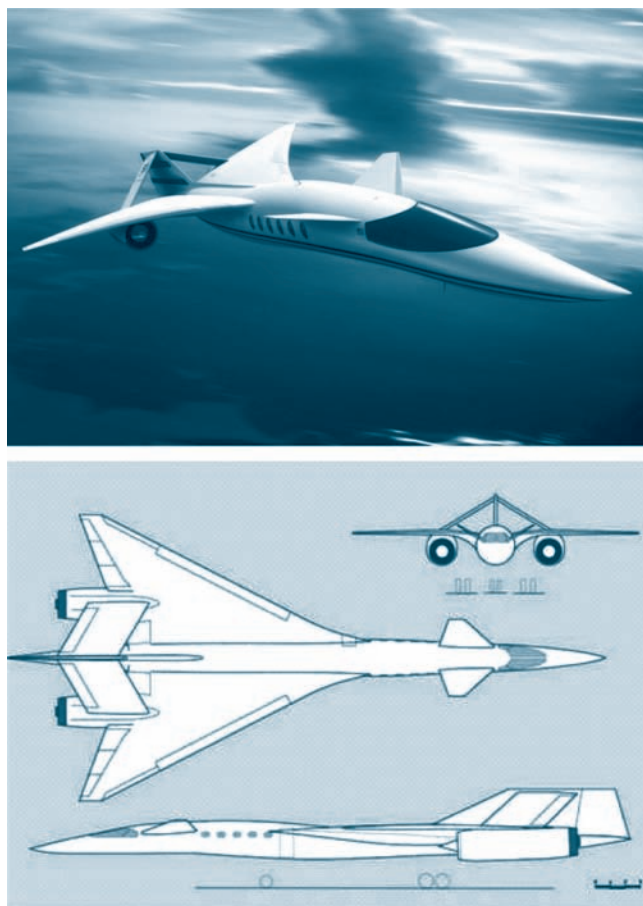


图3 QSST超声速公务机外形图及三视图

Fig.3 Profile and three views of QSST

研究表明,QSST这种气动布局设计不仅有助于减轻结构重量、减小诱导阻力、增大升阻比,更重要的是通过后机身产生部分升力,可以大幅减轻飞机飞行过程中所产生的声爆。近期风洞试验的结果也证明了这一点,有报道称QSST超声速飞行时产生的声爆仅为“协和”飞机的1/100左右,以致于在地面基本感受不到^[1-4]。

根据SAI公司近期公布的计划,QSST将于2017年完成首飞,2018年后开始向客户交付。

3 发展趋势

随着社会经济的发展和水平的提高,人们对空中旅行舒适性的要求越来越高,其中包括尽量缩短长途飞行时间以避免由此引起的厌倦疲劳,而这个问题只能通过进一步提高飞机速度、实现超声速甚至高超声速飞行来解决。因此,超声速客机无疑有着广阔的市场前景。正因为如此,自上世纪70年代以“协和”和图-144为代表的第一代超声速客机问世以来,相关国家对新一代超声速客机的研究从未停止。尤其是从20世纪90年代中期起,世界上再次出现了一股超声速客机研制热潮,美国、欧洲、俄罗斯、日本等纷纷提出了各自的超声速、甚至高超声速客机方案。然而让人颇感失望的是,由于前述的超声速客机经济性和环保性差两大问题一直无法得到满意解决等原因,导致这些研究计划大都止步于设想阶段。时至今日,超声速客机均没列入波音和空客公司的正式产品研发计划。在这样的背景下,如何从当前及今后一段时间内的科技水平出发,选择切实可行、科学合理的技术发展路线,争取尽早在新一代超声速客机发展领域取得突破,打破“协和”/图-144首飞超过半个世纪后其后继机仍迟迟无法面世的局面,是相关各国正在研究的课题。

从这个意义上看,在制订其未来超声速客机发展规划时,NASA放弃了先前力图一步到位、在主要性能指标上全面超越“协和”等第一代超声速客机的思想,而是通过实施N+1、N+2和N+3代飞机“三步走”战略,争取近期内首先在技术难度和复杂程度相对较低、较小较慢的超声速公务机领域取得突破,然后逐步提高技术门槛、增大飞机尺寸重量和飞行速度,最终向大型超声速客机迈进。不仅如此,通过N+1代超声速公务机研究计划的实施,其相关的一系列前瞻性技术预研和概念探索(如超声速飞机声爆控制)也必然对后续各代超声速客机的发展产生积极影响。目前,美国N+2、N+3代超声速客机概念研究中均在考虑沿用N+1中的部分技术成果(洛克希德·马丁公司的N+2概念方案就拟引入Aerion公司SBJ超声速公务机所采用的“自然层流”专利技术),甚至部分N+2/N+3概念方案本身就是直接由N+1改进而来(洛克希德·马丁公司的N+3概念方案就是QSST超声速公务机的放大改进型)。此外值得注意的是,从投入营运后市场前景的角度来看,先行发展超声速公务机也具有现实可行性。这是因为,超声速客机的研制、采购和使用成本(包括油耗和维护费用)将不可避免地会高于普通亚声速飞机,导致部分航空公司对其投入使用后是否能够盈利信心不足(尤其是在营运初期),从而会影响其市场前景(“协和”飞机的发展就是前车之

鉴)。而对超声速公务机来说,公务机的客户对运营成本并不敏感,而更看重由此节省下来的时间价值,因而超声速公务机即便在营运初期成本高一点也不至于对其市场前景产生严重影响。

正是由于上述这些原因,从目前超声速客机的发展动向来看,各国也遵循了类似NASA“三步走”、先行发展超声速公务机的发展路线。近年来,欧洲、俄罗斯、日本在探讨论证其新一代超声速客机发展的同时,均在酝酿研制中、小型超声速喷气公务机,并希望以此作为今后发展大型超声速客机的中间步骤和突破口。

AST

参考文献

- [1] Robert J. Mack. A supersonic business-jet concept designed for low sonic boom [Z]. NASA/TM-2003-212435, 2003.
- [2] John Morgenstern, Nicole Norstrud, Jack Sokhey, et al. Advanced concept studies for supersonic commercial transports entering

service in the 2018 to 2020 period phase i final report [R]. NASA/CR-2013-217820, 2013.

- [3] Preston A. Henne. Small supersonic civil aircraft [Z]. Gulfstream Aerospace Corp, 2005.
- [4] Peter Coen. NASA fundamental aeronautics program supersonics project [Z]. 2009 Annual Meeting, 2009.
- [5] 马援. 超声速民用飞机的复苏[J]. 国际航空,2007,(12):56-57.
- MA Yuan. Recovery of supersonic civil aircraft [J]. International Aviation,2007,(12):56-57.(in Chinese)

作者简介

陈黎(1972—) 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机产品与技术研究。

Tel:010-57808191

E-mail: mig2131@163.com

Research Progress and Development Trends of U.S. Supersonic Business Jet

CHEN Li*, YANG Xinjun

Beijing Aeronautical Science & Technology Research Institute of COMAC Department of Development and Planning , Beijing 102221,China

Abstract: NASA's "three-step" development strategy for supersonic business jet is reviewed. The development backgrounds of U.S. supersonic business jet (SBJ) in recent years are analyzed. The development status of U.S. SBJ are described. The development trend of supersonic business jets is put out.

Key Words: development status; development trend; development strategy; SBJ; NASA

Received: 2013-08-26; Accepted: 2013-10-03

* Corresponding author. Tel: 010-57808191 E-mail: mig2131@163.com