



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



News & Highlights

超声速运输归来?

Lance A. Davis

Senior Advisor, US National Academy of Engineering

2017年6月26日, 美国国家航空航天局(NASA)宣布其静音超声速运输机(QueSST)已完成初步设计审查(PDR), 其设计大大减弱了超声速飞行所产生的声爆[1]。在NASA克利夫兰格伦研究中心的一个8 ft×6 ft (1 ft= 0.3048 m)的超声速风洞中对飞机的比例模型进行了测试。这项工作的主要承包商是洛克希德马丁的臭鼬工厂®(Lockheed Martin Skunk Works®)。

NASA的下一步工作是为建造低空飞行演示(LBFD)的验证机招标(图1), 这项工作预计耗资约3.9

亿美元, 并准备在2019—2021年进行飞行测试。验证机由单发动机推动, 并将由一名飞行员驾驶, 流线型设计的机身预计长94 ft, 从驾驶舱向前观看时需要摄像机。PDR的结果将会提供给潜在的投标人[2]。

这项工作的最终目标是继2003年法国航空公司和英国航空公司的协和式飞机退役后, 再次使超声速客运运输成为可能[3]。协和式飞机引人注目的特点是其2.04 Mach的巡航速度[4](是声速的2.04倍, 即1354 mi·h⁻¹或2180 km·h⁻¹, 飞行速度受限于铝合金机身的气动加



图1. NASA的低空飞行演示验证机在项目PDR期间展示的图片。授权: 美国国家航空航天局/洛克希德·马丁[1]。

热), 可将巴黎到纽约的旅行时间缩短一半。2000年7月25日, 法国航空公司的协和式飞机在法国巴黎郊外发生的一起致命事故, 造成113人死亡, 对协和式飞机的服务造成了极大的负面影响, 但最终导致其退役的原因是极低的经济性。这主要是由于协和式飞机产生的连续的、音量大到令人反感的声爆, 导致其在1973年被美国联邦航空管理局禁止飞越美国大陆, 这意味着它无法在美国扩大服务以实现规模经济。

飞机上的任何突起都会在超声速飞行中产生能够发散到空间的冲击波。当飞机的飞行速度接近1 Mach时, 声波不再能从飞机逃逸, 便与机头和机尾产生的大冲击波合并。机头处的冲击压力沿着机身下降, 然后在机尾再次上升。这种压力特征被称为N波。机头和机尾处的压力快速增加, 会产生两个连续的声爆, 由于间隔时间过短, 两个声爆经常被视为一个。对于没有经历过声爆的人, 可以在互联网上找到相关案例[5]。

声爆的爆音在0.1100 Hz的频率范围内。在地面上, 声爆可否被察觉取决于与飞机的距离以及飞机的形状和速度[6], 尽管当速度在1.3 Mach以上时其作用开始减小。声爆的持续时间随着飞机尺寸的增大而增加, 协和式飞机的声爆持续时间为200~300 ms[7]。声爆“地毯”的宽度大约是飞机高度的5倍, 因此一架飞行在30 000 ft处的超声速飞机将持续产生一个宽约5 mi (1 mi= 1.6093 km) 的声爆“地毯”, 最大音量出现在飞行路径的下方, 并横向减小直到不可察觉。冲击波对地面的超压通常仅为1~2 psf (1 psf = 47.8803 Pa), 仅略高于2116 psf的大气压[6]。压力的快速变化也正是声爆产生的原因。协和式飞机在52 000 ft处以2 Mach的速度飞行时, 超压为1.94 psf。

高速计算机可以重复许多复杂的3D流体动力学仿真, 这使得在合理的时间和费用内完成PDR成为可能, 而在设计协和式飞机时, 这项关键性技术尚不可用。关于超声速飞机, 已知的基本的事实是: 应使飞机的长度和横截面积的比值尽可能大, 并且减少突起, 但是通过构建和测试比例模型反复试验却极其耗时耗财。QueSST的设计目标是防止飞机飞行产生的小冲击波合并成大冲击波[8]。这会压力特征从N波改变为更加渐进的S波, 并形成一系列较轻的隆隆声。这个理念认为,

这种隆隆声对于地面上的人类和动物来说会产生更少的影 响。预计速度在1.42 Mach以下飞行的验证机的噪声水平大约为75个感知噪声水平分贝 (PNLdB), 远低于协和式飞机的105 PNLdB [8], 75 PNLdB的噪声水平相当于人们在高速公路行驶时感受到的噪声[2]。

解决声爆问题是否就能迎来超声速客运的复兴目前还不清楚。如前文所述, 协和式飞机 (在1976—2003年服役) 已停止服务, 这主要归咎于它极低的经济性[9]。美国大陆和世界其他地区对其航线的限制是一个因素, 燃料成本是另一个因素。以超声速飞行需要2~3倍的燃油消耗, 而有限的燃料阻碍了其执行跨太平洋航行任务。飞机的尺寸也是一个因素。协和式飞机在其狭长的客舱中于中央过道两侧各布置有两个座位, 共搭载约100名乘客。通过使飞机拥有更大的横截面和更长的机身以搭载更多的乘客可以提高经济性, 但长度为202 ft[10]的协和式飞机已经略长于波音747SP[†] [11]。目前还不清楚具有更大推力和更大燃料消耗的发动机会对大型飞机的经济性造成何种影响。此外, 如今发动机的二氧化碳排放量是比几十年前更为关键的因素。不过, 将旅行时间缩短一半依然存在极大的吸引力。

References

- [1] NASA completes milestone toward quieter supersonic X-plane [Internet]. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration; [updated 2017 Sep 2; cited 2017 Nov 1]. Available from: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-completes-milestone-toward-quieter-supersonic-x-plane>.
- [2] Black T. NASA has a way to cut your flight time in half [Internet]. New York: Bloomberg L.P.; [updated 2017 Jul 24; cited 2017 Nov 1]. Available from: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-07-24/nasa-has-a-way-to-cut-your-flight-time-in-half>.
- [3] Keller G. Continental Concord crash conviction overturned by French court [Internet]. Boston: The Christian Science Monitor; [updated 2012 Nov 29; cited 2017 Nov 1]. Available from: <https://www.csmonitor.com/Business/Latest-News-Wires/2012/1129/Continental-Concord-crash-conviction-overturned-by-French-court>.
- [4] Niiler E. NASA thinks it can make a supersonic jet with no boom [Internet]. New York: Condé Nast; [updated 2016 Apr 3; cited 2017 Nov 1]. Available from: <https://www.wired.com/2016/03/nasa-thinks-can-make-supersonic-jet-no-boom/>.
- [5] Pedley T. Watch military jet create sonic boom as it breaks sound barrier in this amazing video [Internet]. London: MGN Limited; c2017 [updated 2015 Jan 4; cited 2017 Nov 1]. Available from: <http://www.mirror.co.uk/news/worldnews/watch-military-jet-create-sonic-4915336>.
- [6] NASA Armstrong fact sheet: Sonic booms [Internet]. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration; [updated 2017 Aug 15; cited 2017 Nov 1]. Available from: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-016-DFRC.html>.
- [7] Mertins J. Required technologies for supersonic aircraft. In: Proceedings of the special course on “Fluid dynamic research on supersonic aircraft”; 1998 May 25–29; Rhode-Saint-Genese, Belgium. Neuilly-sur-Seine: Research and

[†] 译者注: 波音 747SP 是波音 747 的一种改进型号, 缩短了机身长度并以此增加航程。其机身长度为 184.72 ft (56.31 m), 而现役的大多数波音 747 (指 747-8) 的机身长度为 250.16 ft (76.25 m)。

- Technology Organization; 2012. p. 5.1–16.
- [8] Bennett J. How NASA wants to build a supersonic plane without the boom [Internet]. New York: Hearst Communications, Inc.; c2017 [updated 2017 Jun 13; cited 2017 Nov 1]. Available from: <http://www.popularmechanics.com/flight/a21312/nasas-low-boom-supersonic-aircraft/>.
- [9] Concorde grounded for good [Internet]. London: British Broadcasting Corporation; c2017 [updated 2003 Apr 10; cited 2017 Nov 1]. Available from: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/2934257.stm.
- [10] Yamashita H, Obayashi S. Sonic boom variability due to homogeneous atmospheric turbulence. *J Aircraft* 2009;46(6):1886–93.
- [11] 747SP specifications [Internet]. Boeing 747SP Website; c1996–2017 [cited 2017 Nov 1]. Available from: <http://www.747sp.com/747sp-specification>.