

# 洛马静音超声速客机方案分析

## Analysis of Lockheed Martin's Quiet Supersonic Airliner Concept

■ 张启军 李明/中国航发研究院

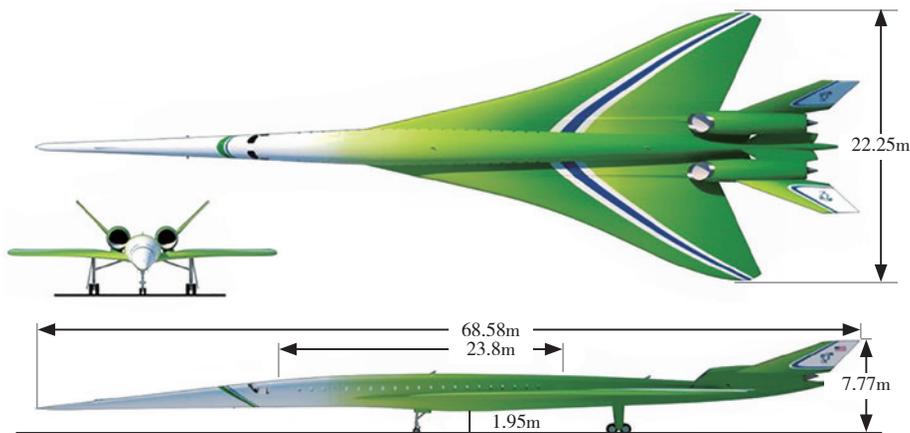
6月19日,洛克希德-马丁(洛马)公司在达拉斯举办的美国航空航天学会航空论坛(AIAA Aviation Forum)上,公布了一个马赫数( $Ma$ )1.8的静音超声速客机方案。与早期的超声速运输(SST)项目有所不同,此方案集成了新的设计、推进、空气空气动力学和系统等方面的使能技术,可搭载40人,能很经济地运行在跨太平洋的航线上,同时能破解击败“协和”号超声速客机的声爆和机场噪声问题。

### 方案特点

洛马公司的静音超声速客机方案采用了大后掠角三角翼、长机体、V形尾翼的布局。机体长68.58m,翼展为22.25m,与“协和”号相比,机体在整体上更细长但翼展略小,其中头部长约21m,客舱位于机体中间,约24m。两台涡扇发动机安装在飞机尾背,进气道被三角翼遮挡,可屏蔽进口激波,降低噪声;单台发动机的推力为178kN。

新方案在设计上很大程度得益于X-59验证机,并利用了美国国家航空航天局(NASA)先期N+2静音超声速计划的研究成果。后者首次验证了低声爆可以与良好的超声速巡航升阻比设计相兼容,并确定了X-59验证机和该方案的基本构型。

X-59是NASA“低声爆飞行验证”项目诞生的“安静超声速运输”(QueSST)验证机,由洛马公司的臭鼬工厂负责,于2016年开始设计,2018年开始制造,计划2021年首飞。洛马公司将借以收集社区测试飞行数据,了解声爆的可接受性;帮助NASA建立一个可接受的商业超声速噪声标准,以改变美国禁止超声速



细长型超声速客机概念设计(来源:洛马公司)



洛马公司40座静音超声速客机概念(前)利用了X-59验证机成果(后)(来源:洛马公司)



X-59验证机 (来源: NASA)

X-59的社区测试结果。对于陆地上空巡航马赫数, 洛马公司的设计被优化到 $Ma1.7$ 或者略高,  $Ma1.6$ 或更低的速度对飞机的利用率和飞行效率不利。对于水面上空飞行, 首选是 $Ma1.7$ 或略高, 但超过 $Ma1.8$ 时, 会严重影响声爆强度。

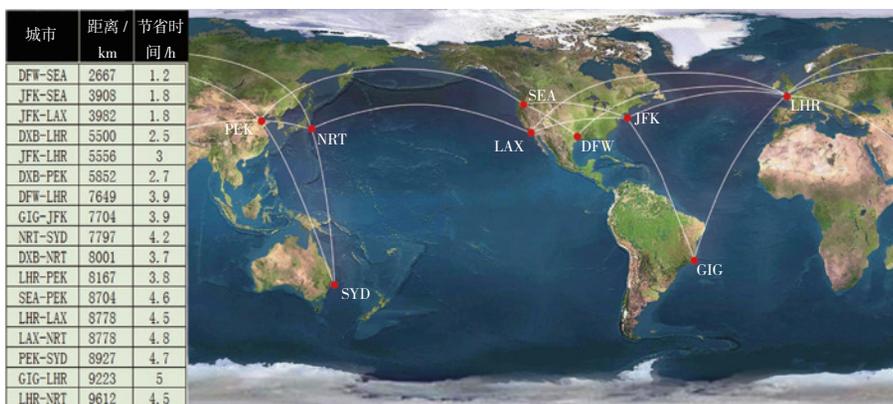
### 使能技术

为满足以上需求, 洛马公司采用了4项关键的使能技术: 声爆塑形 (shaped-boom) 设计、低噪声集成推进系统、超声速自然层流 (NLF) 后掠翼以及座舱内可视的外部视景系统 (XVS)。

民机在陆地上空飞行的法规, 这也是超声速客机商业运行的先决条件。洛马公司的X-59项目负责人表示, 公司已拥有能够大幅降低声爆的技术, 通过重塑声爆使之安静下来。

### 市场分析

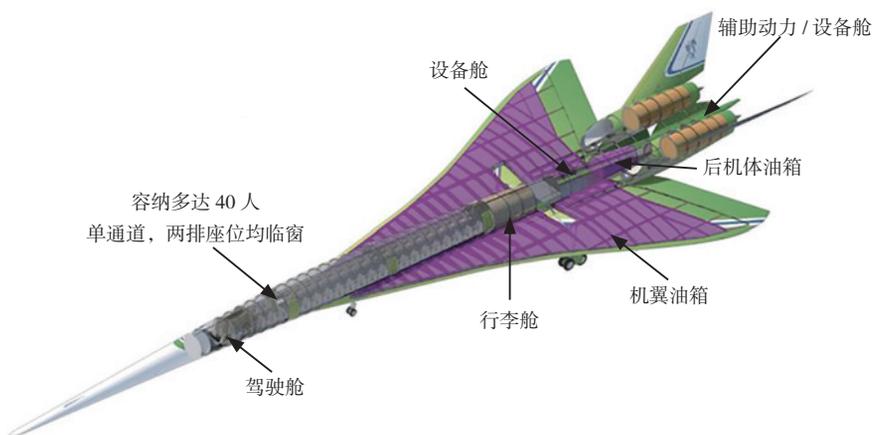
洛马公司对超声速运输市场开展了分析, 建立了一系列基本要求, 包括航程、起飞距离、载容量、超声速巡航起始时声爆强度、陆地上空和水面上空巡航马赫数、机场噪声等。其中, 航程最小值设定在7778km, 洛马公司认为这足以满足大多数的城市对之间的飞行; 而当航程设定在9816km时, 则能实现跨太平洋的不间断飞行, 轻松覆盖纽约—伦敦、东京—洛杉矶、伦敦—北京、东京—悉尼等航线; 起飞场长为2900 ~ 3200m。在参考“协和”号、研究市场需求和载荷等因素后, 发现载客量最佳值是40人。目前, 声爆强度定在低于80感知分贝水平 (PLdB), 但实际能否实现, 还有待



洛马公司超声速客机主要航线及省时估计



静音超声速客机设计特点 (来源: 洛马公司)



静音超声速客机框架结构 (来源: 洛马公司)

### 声爆塑形设计

该技术的成熟是洛马公司当前选择发展超声速客机的关键因素之一, X-59设计采用的工具与方法可以100%移植其中。20年前, 声爆强度只能控制在85 ~ 90 PLdB; 10年前, 也没有真正实现低声爆, 但研究工作一直在持续。就在洛马公司与NASA合作开发N+2计划时, 对降低声爆, 以及减小影响超声速巡航效率的研究都取得了较大的进展。计算流体力学(CFD)的进步能够精确模拟流场, 新的工具能够探索复杂三维流动扰动。同时, 新的优化器提供了一种快速识别设计是否可行的方法。这些工具当时应用于一个 $Ma$ 1.5 ~ 1.7、35 ~ 70座的飞机, 其声爆强度为85 PLdB, 机场可感噪声比第四阶段低12dB, 所有这些指标都与洛马公司当前的方案接近。

### 低噪声集成推进系统

该技术主要解决机场噪声问题, 对未来超声速商业飞行能否被接受至关重要, 现有的货架发动机无法满足需求。经过十多年基础性研究, 洛马公司建构了许多“积木”式模块,

发现将其集成起来, 可得到满足需求的推进系统。主要包括先进的气动塞式喷管、噪声屏蔽设计以及能在进口湍流下高效工作的抗扭曲风扇叶片。

进气道采用了“流线跟踪的外部压缩”(STEX)设计, NASA经测试发现, 它能够引导激波从进口溢出并远离飞机, 提供噪声屏蔽且降低低声爆。STEX设计针对 $Ma$ 1.6或略高值进行了优化, 融合了外部超声压缩和内转式进气道, 与传统轴对称锥形进气道相比, 能够产生低阻力的外罩角。进气道前缘呈斜切割状, 能将结尾激波控制在唇口, 亚声速溢流固定在唇口的一小部分; 该切割特征使进气道与飞机一体化, 可控制溢流与上翼面的相互作用。小的外罩角和固定位置的亚声速溢流还能降低导致声爆的外部压力扰动。但STEX设计也面临一些挑战, 仍需继续研究。例如, 测试发现, 与传统轴对称锥形进气道相比, 结尾激波和边界层的相互作用导致总压恢复较低, 潜在的解决办法包括增加喉部放气或者引入涡流发生器。推进系统将采用当前先进大涵

道比涡扇发动机核心机, 匹配一套新研制的低压系统。就风扇而言, 对于高效的超声速飞行, 风扇尺寸要小且压比高; 但对于低噪声, 风扇则要求大尺寸和压比低。就此, 洛马公司宣称已有解决方案, 使飞机在起降、超声速巡航时都能良好表现。

### 超声速自然层流后掠翼技术

通过设计具有合理压力梯度的机翼, 可以得到自然层流(NLF), 延迟层流到湍流的转换。以前, NLF机翼主要应用于小型飞机或小后掠角的设计。洛马公司当前面临的困难是随机翼后掠角的增大, 三维流场变得容易对一种边界层不稳定较为敏感, 也称为横向涡流不稳定, 导致边界层在靠近机翼前缘处就变成湍流。虽然洛马公司与Aerion公司针对AS2超声速客机, 合作研究过层流机翼, 但该技术对当前的低噪声和声爆塑形设计并不适用。

目前, NLF的技术成熟度仍非常低, 但潜力巨大。洛马公司表示, NASA在过去几年开展了大量超声速自然层流大后掠翼研究, 对实现飞行目标至关重要, 其核心是降低阻力而不牺牲声爆塑形特征。

### 座舱内的外部视景系统

大后掠翼的特点决定飞机在起降时采用大迎角, 导致驾驶舱视野被长长的机头遮挡。“协和”号的应对策略是采用下垂式机头设计, 但洛马公司利用现代技术优势, 避免了复杂结构和质量增加。外部视景系统(XVS)由NASA专为X-59验证机开发, 带有安装在机头上表面的前视4K高清摄像系统, 同时配合使用双摄像头多光谱红外增强视觉系统(EVS)。

主要超声速客机概念方案对比

企业	提出时间/年	巡航速度/ $Ma$	航程/km	载客量/人	推进系统	计划安排
Spike	2013	1.6	11482	12 ~ 18	2台, 单台推力 88.9kN	2022 ~ 2023 交付使用
Boom	2016	2.2	8300	55	3台, 中等涵道比涡扇发动机, 单台推力 67 ~ 89kN	XB-1 验证机 2019 年试飞, 未来 10 年内投入运行
波音	2018	5	可跨太平洋	约 10	涡轮冲压组合发动机	-
Aerion	2018	1.2	可跨太平洋	12	3台, GE 公司新型中等涵道比涡扇发动机 Affinity	AS2 在 2023 年首飞, 2025 年适航取证
洛马	2019	1.8	8000 ~ 10000	40	以已有核心机为基础, 配新研低压系统的涡扇发动机, 2台, 单台地面推力 178kN	-



X-59 驾驶舱内高清显示系统 (来源: 洛马公司)

## 综合分析

超声速飞行早非新鲜事物, 毕竟先进战斗机已经实现了无加力超声速巡航, 而且“协和”号十多年前已开展过商业运行; 但考虑低噪声、经济、安全、高效等严格要求, 民用超声速运输对人类仍是一个具有挑战性的课题。

除洛马公司外, 还有多家公司相继推出了各自的超声速客机概念, 老牌公司如波音, 初创公司如 Spike、Boom、Aerion 等, 各方案均有不同, 但动力系统始终是飞行的关键, 对飞机性能起决定性作用, 超声速客机尤为如此。这些方案的速度多在  $Ma1.8$  左右, 动力仍采用传统的涡扇

发动机。现有涡扇发动机基本无法满足需求, 均须重新研发以适应高速、大推力、经济、低噪声的使用要求。除相对低速的 AS2 项目已有明确动力并发布计划外, 其余方案只是提出了对动力的需求与基本设想, 未来的发展仍不太明朗。

虽然近几年发布了多个方案, 但各家出发点并不相同: 初创类公司是想通过另辟蹊径、创造新需求, 在绝对垄断、难以进入的民机市场中开辟新市场, 进而分羹; 但老牌航空科技公司, 则更多是不愿看到有人抢食, 被迫跟上, 如洛马公司很可能是考虑 X-59 项目进展良好, 提前开展市场布局, 尽早转化项目成果。

相比洛马公司、NASA 等持续开展基础性研究, 通过技术推动超声速客机发展, 市场的需求牵引则更为重要。如果 AS2 项目成功, 受市场追捧, 相信会有更多的制造商加入, 而诸如洛马、波音、空客等实力雄厚的公司, 则会迅速将技术转换为产品, 抢占新兴市场。 [航空动力](#)

(张启军, 中国航发研究院, 工程师, 主要从事航空发动机综合管理)