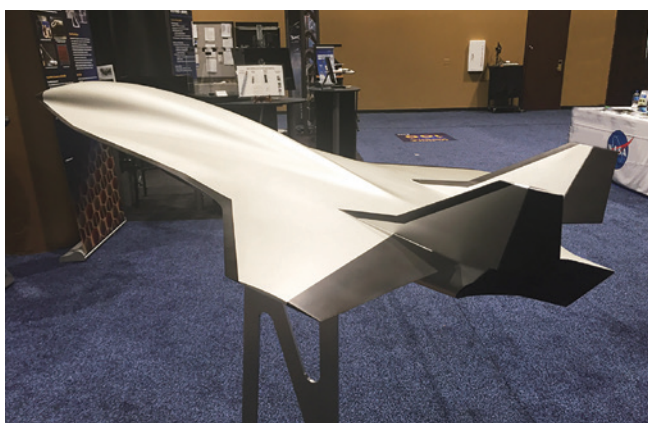


波音发布高超声速飞机概念

Boeing Unveils Hypersonic Aircraft Concepts

■ 成磊

今年以来，波音公司陆续发布了侦察/打击型和载客型的高超声速飞机概念，引发人们对高超声速飞机及动力技术发展的关注。出于保密的原因，波音公司没有透露更多的细节，只表示高超声速飞机的涡轮基冲压组合发动机（TBCC）技术已取得了相应的进展，为下一步开展技术验证铺平了道路。



波音公司展示的侦察/打击型高超声速飞机概念模型



波音公司在发布的高超声速客机概念

侦察/打击型高超声速飞机概念

今年1月，波音公司在2018美国航空航天学会科技大会（AIAA SciTech 2018）上，公开展示了一个侦察/打击型高超声速飞机模型，这是继2013年洛克希德-马丁（洛马）公司公布SR-72高超声速飞机概念之后，美国又一高超声速飞机概念的高调亮相。

从此次展示的模型看，波音侦察/打击型高超声速飞机采用大后掠双三角翼加双垂尾布局，机身有明显的隆起脊背，机腹平坦，两侧有大后掠边条。据专业人士分析，此

设计既可以在高超声速飞行时获得乘波升力，又可以在起飞降落等低速飞行时依靠前部边条产生的涡流获得涡升力。机体隆起的脊背可提高机身容量，为任务载荷、燃料等留有充足空间。

截至目前，波音公司未透露其高超声速飞机的具体指标，只表示飞行速度达到 $Ma5+$ ，并特别强调了飞发一体化设计技术在其开展高超声速飞机概念研究中的重要性。

波音公司的高超声速飞机拟采用涡轮基冲压组合（TBCC）发动机，包含常规涡轮发动机和双模态亚燃/超燃冲压发动机（TMRJ），二者共用

进气道和尾喷管。

波音公司在2014年和2016年分别获得美国国防高级研究计划局（DARPA）“先进全状态发动机”（AFRE）项目和美国空军TBCC飞行验证机概念研究项目的经费支持。其动力系统的合作伙伴是诺斯罗普-格鲁门（诺格）创新系统公司（原轨道ATK公司）。波音此次发布的军用型高超声速飞机概念模型应为这些项目的研究成果。

波音公司计划先研制一款F-16战斗机大小、采用单台发动机的验证机，主要用于飞行试验；然后再推出一款SR-71侦察机大小、采用

两台发动机的作战飞机。波音公司计划在21世纪20年代末期完成型号研制，使之成为SR-71“黑鸟”侦察机的后继机。

高超声速客机概念

今年6月，在2018美国航空航天学会航空大会（AIAA Aviation 2018）上，波音公司公布了一个高超声速客机概念，将由波音研究与技术部（BR&T）携手波音民机集团（BCA）共同开展高超声速客机研究，并对初始设计方案进行了多学科设计优化（MDO）。此次公布的高超声速飞机概念只是其多个高超声速飞机设计方案中的一个。

据称，波音的高超声速客机的载客能力比现有的远程公务机要大，但比波音737要小。波音的高超声速客机将以 $Ma5$ 速度巡航，是2003年退役的英法合作研制的“协和”号超声速客机的2倍，横跨大西洋的时间约为2h，横跨太平洋的时间约为3h；巡航高度为29000m（95000ft），比“协和”号高了9100m（30000ft）。

拟采用涡轮冲压发动机

波音此次公布的高超声速客机方案选择了 $Ma5$ 作为其巡航速度。 $Ma5$ 被认为是选择亚燃冲压发动机与超燃冲压发动机的分界线：当速度低于 $Ma5$ 时，采用亚燃冲压发动机；而当速度高于 $Ma5$ 时，采用超燃冲压发动机。亚燃冲压发动机的技术难度明显小于超燃冲压发动机，因此波音公司的高超声速客机最终选择了 $Ma5$ 作为巡航速度。

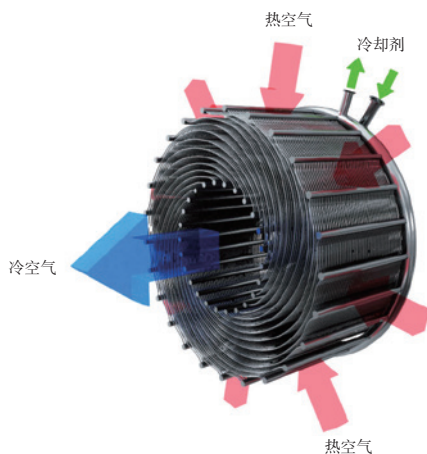
与GE公司和普惠公司研发的三涵道自适应军用发动机类似，波音公司的高超声速飞机发动机只有一个进气道和一个尾喷管，并采用轴

对称的环形布局将涡轮组件包裹在其中，即在涡轮组件的外侧，设计一个旁路进气道，可直接将旁路空气导入位于发动机后部的冲压燃烧室，而不必流经涡轮组件。

在随飞机高速飞行时，该发动机会有涡轮组件功能全部关闭与部分关闭两种状态。据推测，因为冲压发动机适合工作在 $Ma3$ 以上，因此其全部关闭状态应该出现在 $Ma3 \sim 5$ 飞行速度的时刻。一般认为，涡轮组件与冲压组件的临界转换速度为 $Ma2 \sim 3$ ，而在该速度段，两种动力形式都处于低效率状态。因此，将涡轮组件功能部分关闭，采用两种动力形式共同工作，可达到最佳组合工作效率。

拟采用“佩刀”发动机的预冷热交换技术

先进的冷却技术对于控制飞机系统、客舱和动力装置的热环境非常重要。波音公司拟采用英国反应发动机（Reaction Engines）公司正在研制的“协同吸气式火箭发动机”（SABRE）——亦称作“佩刀”发动机——的预冷热交换技术。今年4月波音通过战略投资成为反应发动机公司的股东。



“佩刀”发动机的预冷热交换器

英国反应发动机公司成立于1989年，专注于“佩刀”发动机的研制。据称，“佩刀”发动机的预冷热交换器是一种结构紧凑和质量超轻的装置，仅用0.05s的时间可将来流温度从1000℃降至-150℃。

预冷热交换器位于高超声速进气道和涡轮压气机之间。当空气进入进气道时通过一个激波系，将动能转换为热能。气流通过预冷器后，会沿轴向流动进入压气机。“佩刀”发动机的预冷器由数千个直径很小的管道按螺旋状排列组成，据称此设计可以使热交换效率达到95%左右。

波音公司还计划用液态甲烷作为冷却系统的组成部分，同时考虑采用液态甲烷与常规航空燃油（Jet A）的双燃料体系。甲烷的优点是既可以用作冷却剂又可以用作燃料，而且甲烷的热值比Jet A高，但其密度低，要付出体积代价。因此波音还需要研究两者之间的最佳配比。

结束语

从波音公布的信息看，波音的高超声速飞机体现了军民融合发展的理念，在气动构型、动力装置的选择等关键技术领域都尽可能采用相同的设计和技术，并用同一款验证机来验证二者的共性技术。考虑到在取证过程中可能存在的一系列问题，波音的高超声速客机可在未来二三十年内实现载客飞行。相比较而言，军用型高超声速飞机投入服役的时间会早一点，但取决于洛马公司之间的竞争。毕竟，洛马公司的高超声速概念SR-72的提出要比波音早了5年，波音是否能后来居上，有待时间检验。

航空动力