

鱼嘴形可调喷管概念设计

Conceptual Design of Fish Mouth Variable Nozzle

■ 杜桂贤 贾东兵 金文栋 徐速 宋经远 胡春晓 / 中国航发动力所

针对未来高隐身性、高推重比战斗机的发展需求，创新团队基于仿生学原理，首次提出了一种变截面、变面积的鱼嘴形可调喷管，并首次将多学科耦合仿真方法应用于喷管的概念设计中，创新性地完成了方案设计和分析，有效地缩短了设计周期，同时代替了部分物理试验。

随着先进的搜索跟踪系统、地空导弹防御系统和空空武器装备的迅速发展，飞行器尤其是起突防战术作用的作战飞机的战场生存环境日趋恶化，如何提高战场上飞行器的生存能力，并实施有效的对敌攻击，成为现代战争亟待解决的关键问题之一。因此，高隐身、高推重比已成为未来军用飞机战场生存力的迫切需求，而作为动力装置的发动机对飞机作战效能具有决定性作用。

喷管是发动机的重要部件之一，位于发动机最末端，对发动机的推力和质量影响较大，同时也是飞机后向隐身的关键部件，如图1所示。因此，中国航发动力所的创新团队针对未来战斗机的发展需求，研发相应的配套喷管方案，一方面可以提高发动机的推重比，另一方面也可以满足飞机的综合隐身性能的需求。

另外，创新团队在设计喷管时还考虑了“潜水飞机”的需求。潜水飞机是一种新概念武器（如图2所示），它可以在水下像潜艇一样打击目标，又可以冲出水面，像飞机一样飞行。由于潜水飞机需要具有空中飞行、水上活动和潜水航行的三

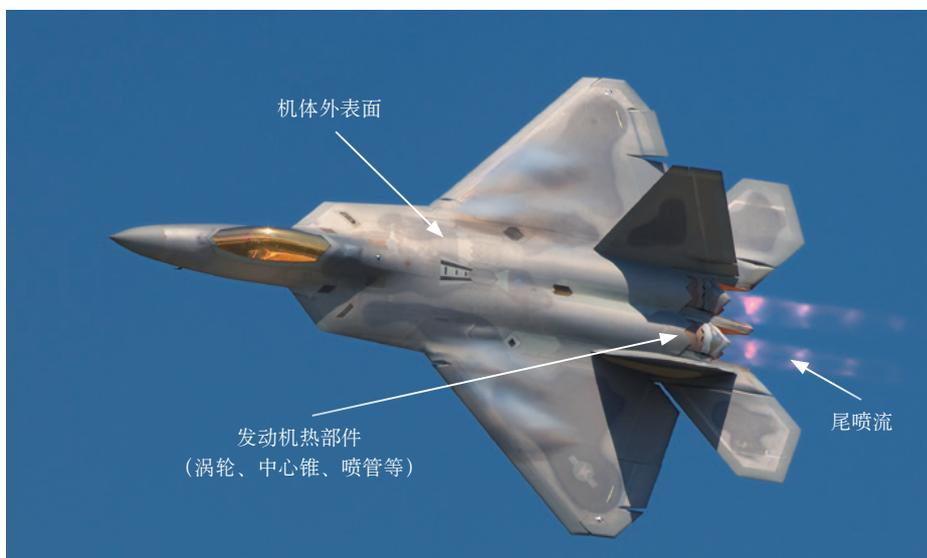


图1 飞机的主要红外辐射源

种模式，因而，它必须同时具有飞机、舰船和潜艇的特点，但这些特点集中在一起，就给与之匹配的喷管带来了新的挑战，不仅需要它在空中

时能像传统喷管一样通过面积调节参与发动机状态控制，而且需要它在水下时能够完全闭合。

基于上述需求，创新团队需要



图2 潜水飞机概念图



(a) 轴对称喷管



(b) 二维喷管

图3 轴对称喷管和二维喷管

设计一种高隐身、高性能、质量轻且出口能够闭合的新型喷管方案，满足不同作战平台的需求。

概念由来

轴对称喷管和二维喷管是目前两种应用较广且较为成熟的喷管类型，如图3所示。轴对称喷管的流道截面为圆形，气流流动损失小，因而具有较优的气动性能，同时喷管喉道面积可调，可适应不同发动机状态的调节及转换；其缺点是运动机构复杂，不能对发动机高温部件有效遮挡，隐身性能差。二维喷管具有较优的隐身性能、结构简洁，易于实现推力矢量，其缺点是质量大，推进效率低，一般只能实施上下的俯仰偏转，移植到现役飞机上困难。

如果要同时满足上述需求，则需要综合各种喷管的优点，设计一种可以在圆形与方形之间相互转换的喷管。在喷管的设计中，加力状态需要优异的气动性能（如轴对称喷管），中间状态需要优异的隐身性能（如二维喷管），因此新设计的喷管应该在加力状态时是圆的，而在中间状态时是扁的。

创新团队通过观察鱼嘴的张合过程、研究其生理结构，发现鱼嘴可实现圆形—方形—线形之间的自

由张合（如图4所示）。受此启发，创新团队按照这种变截面、变面积的原则开始设计所需的喷管。由于该喷管概念来源于鱼嘴，且喷管大、小喷口之间的转换类似于鱼嘴的张合，故称之为“鱼嘴形喷管”。

方案简介

鱼嘴形可调喷管是创新团队基于仿生学原理，首次提出的一种适应未来战斗机发展需求的新概念喷管。它由多个调节片沿周向无缝连接，

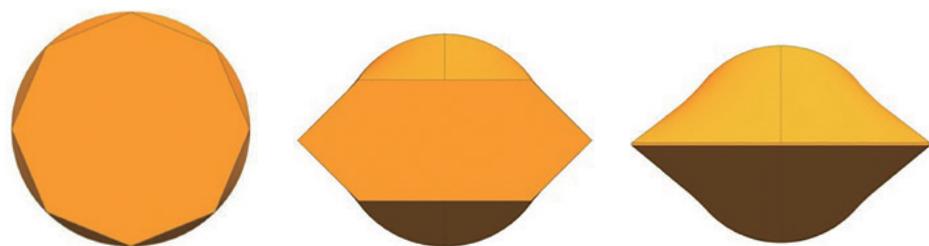
形成一个封闭的气动流路，各调节片在作动系统的驱动下完成协同运动，根据发动机的状态实现圆形出口截面与扁平鱼嘴形出口截面的无级转变，达到面积调节的目的。

鱼嘴形可调喷管主要有三种典型工作状态，即大喷口状态、小喷口状态和闭合状态，如图5所示。

发动机加力状态时，飞机需要优异的气动性能，此时鱼嘴形喷管为大喷口状态，喷管呈圆筒形，出口为圆形，与传统轴对称喷管相似，喷管的气动性能优异如图5(a)所示。发动机中间状态时，飞机需要优异的隐身性能，此时鱼嘴形喷管为小喷口状态，出口为扁平的鱼嘴状，该构型有利于燃气的掺混，且对发动机高温部件遮挡率更高，喷管隐身性能更优，如图5(b)所示。在小喷口的极限情况，鱼嘴形喷管可实现完全闭合，该工作模式可用于潜水飞机等全新作战平台的武器装备上，



图4 鱼嘴张合过程



(a) 大喷口状态

(b) 小喷口状态

(c) 闭合状态

图5 典型工作状态

也可用于有反推力需求的动力装置上，如图5(c)所示。

综合分析

基于上述技术原理，创新团队创造性地采用气固热-机电液多学科耦合仿真的方法完成了鱼嘴形可调喷管的概念设计，并对其气动特性、运动传力特性、多系统相互影响等进行了综合分析，仿真结果如图6和图7所示。结果表明，该喷管综合性能优异、运动结构合理、系统协同良好，因此鱼嘴形可调喷管方案合理可行。

鱼嘴形可调喷管还有很多的优点：首先，它兼具了轴对称喷管和二维喷管的特点，故具有隐身性和高性能；第二，其喉道面积调节范围大，可实现从零至最大面积的调节；第三，结构简洁、质量轻、可靠性高，与传统轴对称喷管相比，其构件数量减少30%以上，运动副减少50%以上。

应用推广

鱼嘴形可调喷管是适应未来飞行器发展需求的一种新型喷管，它集传统轴

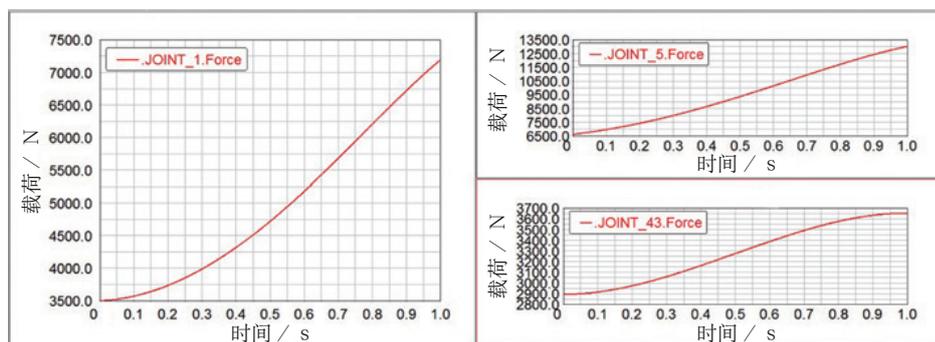


图7 主要关节载荷变化曲线

对称喷管和二维喷管的优点于一身，且取长补短，具有隐身气动等综合性能优异、喉道面积可调、结构简洁、质量轻、密封效果好、可靠性高等优点。其中，最显著的优点莫过于在隐身方面的优势，不仅可以有效遮挡发动机的高温热部件，大幅削减排气系统的红外辐射特征，还能缩减排气系统的雷达截面积（RCS），达到红外隐身与雷达隐身的综合隐身效果，这与无人机、轰炸机和侦察机等机动性较低的飞机对超隐身能力的需求是高度契合的。

与此同时，随着美国高效嵌入式涡轮发动机（HEETE）技术在新一代无人机、轰炸机以及运输机上的逐渐成熟与普遍应用，鱼嘴形喷

管配合发动机埋入式安装技术势必在未来隐身飞行器上有着更广阔的应用前景。此外，在不改变飞机和发动机整体布局的前提下，鱼嘴形喷管可移植到现役飞机及其改进型上。同时，鱼嘴形可调喷管可实现闭合的特点，使其在“潜水飞机”等全新作战平台上具有非常独特的应用前景，另外还可应用于反推力装置上。

结束语

未来武器装备将根据所执行任务的不同，对航程、隐身、机动性、使用平台等技术指标提出特殊需求，因此未来发动机排气系统需要有针对性地研发不同类型的喷管方案，以适应其发展。本项目针对未来武器装备高隐身、高推重比、特殊使用环境等需求，基于仿生学原理，首次提出了一种可在圆形与扁平鱼嘴形出口之间自由转换的鱼嘴形可调喷管，目前已完成喷管的概念设计，后续将从气动、结构、隐身、密封、材料等多个方面开展深入研究，加速其技术成熟，为未来武器装备排气系统的设计研制提供技术支撑。

航空动力

（杜桂贤，中国航发动力所，高级工程师，主要从事航空发动机喷管及排气装置设计）

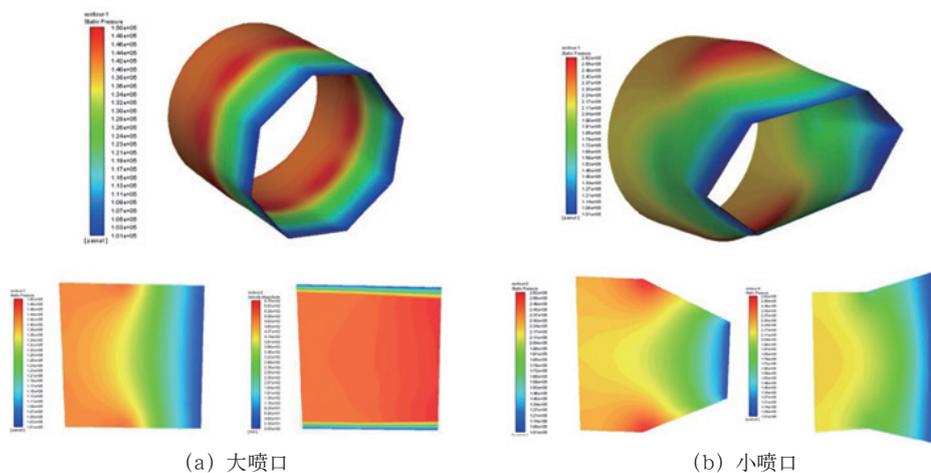


图6 气动仿真结果