



变形机翼和尾翼组件开发

像鸟儿一样自由翱翔

材料科学的新发现和传感器网络的不断改进为自适应飞行技术开辟了新的可能性。在密歇根大学的研究中，MicroLabBox 能够在很大程度上帮助测试与数据记录、执行器控制和实验协调有关的新设计开发。



赋予飞机像鸟一样的灵活性一直是飞机设计师的梦想（图为猎鹰）。

在 开发变形飞机技术时，密歇根大学的自适应、智能化、多功能结构 (AIMS) 实验室经常从大自然中汲取灵感。与现代飞机的刚性结构不同，鸟类可以更有针对性地使用它们的翅膀和尾巴，以灵活适应大气条件或气流变化。对于小型飞机而言，这种适应性在飞行中特别有用，和鸟类类似，机型大小可以决定飞机在飞行中所受的影响，小型飞机比大型飞机更易受到风和天气的影响。AIMS 实验室的研究重点是飞机开发，致力于通过调整机身的几何形状，尤其是机翼和尾翼的形状，开发对周围气流做出主动、直接反应的飞机。AIMS 实验室对此类变形技术做了研究，旨在以自然生物作为模型，开发出能够适应大气条件的飞机。

变形机翼 — 鸟类飞行模型

飞机副翼在飞机空气动力学控制中发挥主要作用，这使其成为自适应飞机技术领域的重要研究课题。AIMS 实验室目前利用由弹性蜂窝结构连接的压电纤维复合材料 (MFC) 执行器，研究如果沿整个翼面改变机身形状可能会产生什么影响（图 1）。通过这种方式可以调整机翼的特定区域，最大限度减少气流带来的不利影响。这种方法尤其适合应对机翼发生突然失速（一部分机翼明显失去升力的现象）的情况。通过对失速期间的非线性空气动力学行为进行建模，AIMS 实验

>>

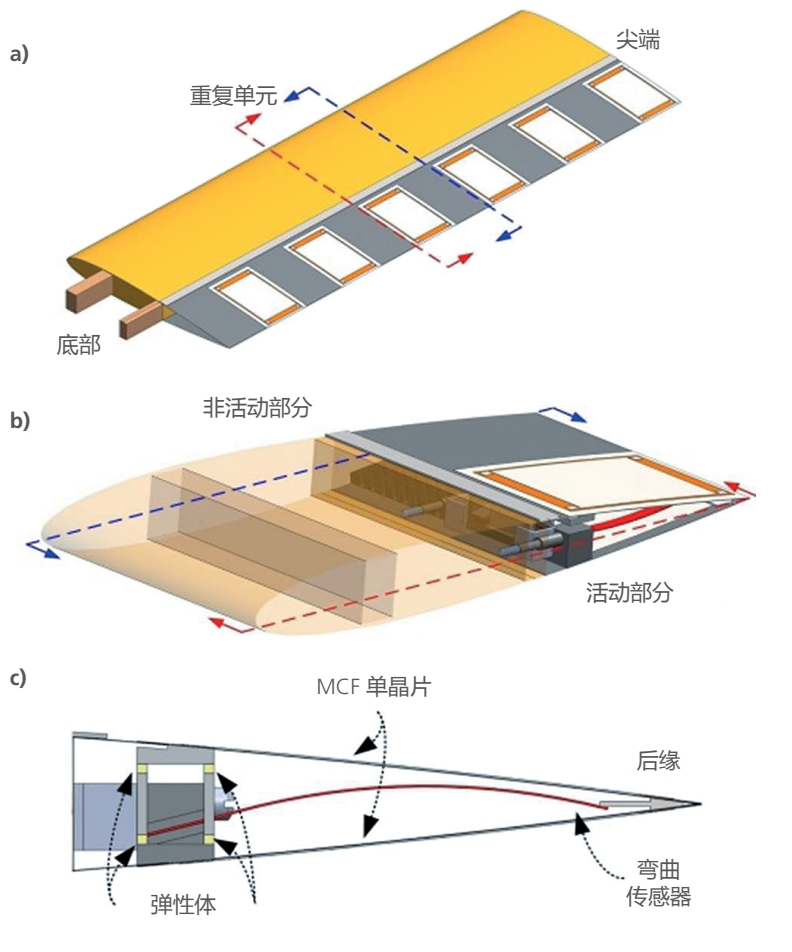


图 1 : a) 变形机翼配置 b) 变形单元部分 c) 主动变形机构。MFC 在驱动时改变形状，偏转机翼后缘的尖端，形成弧形。

自适应尾翼

除了变形机翼，AIMS 实验室的研究员还对水平对齐的可移动尾翼所受的空气阻力做了分析（图 2）。其驱动机制基于对鸟类的观察，鸟类迅速调整尾巴，同时保持头部和身体稳定，观察它的猎物，然后再发起快速、精确的攻击。这就是鸟类与飞机的不同之处，飞机尾翼仅仅用来确保航向稳定性并控制飞行方向。主动式尾翼对飞行来说非常重要，因为它还可以进行俯仰和偏航运动，并可用作空气动力制动装置。配备主动式尾翼的飞机具有很高的操纵性，几乎可以和鸟类一样灵活应变。

关键举措：灵活地改变飞机表面形状

自适应飞机的一个实质性挑战是如何开发多种解决方案以改变飞机表面（例如机翼和尾翼）的形状，并使这些解决方案之间能够实现无缝转换。其中，MFC 发挥了很大的作用。它们由纤薄的柔性结构组成，在施加高电压可以改变形状。通过这种方式，MFC 既可用于飞机表面，又可用作执行器，并且可以当作小型无人机 (UAV) 中常规伺服或液压机构的轻量级替代品。统一的蜂窝结构确保了执行器之间的形状可以连续改变，从而减少了涡流和阻力的形成。另一个挑战是需要设置执行器偏转的理想组合，以改变飞行条件。此时需要借助于空气动力学仿真来完成。简单地说，通过优化的仿真可以得知在当前气流条件下机翼需要调整成哪种形状。优化结果决定了每个执行器的形状，并且基本上预先确定了整个翼展的表面几何形状。还有一个挑战，即

室可以预测每个执行器优化机翼形状所需的偏转，以平衡不利的气流影响并恢复无颠簸的稳定飞行。这个概念是受到生物学家启发而得出的，生物学家们观察到草原雕 (Aquila nipalensis) 有意在飞行中停顿以快速倾斜转弯。

Lawren Gamble

Lawren Gamble 是美国密歇根大学航空航天工程系博士生。



“dSPACE MicroLabBox 能够记录数十个传感器通道并以高精度控制多个执行器，进而有助于在风洞试验过程中监测变形机翼的复杂结构特性和空气动力学特性。”

Lawren Gamble, 密歇根大学

通过内部传感器监测机翼几何形状、控制空气动力学负载所需的偏转，以记录空气动力和扭矩的实时数据。

使用 MicroLabBox 进行风洞试验

受生物学启发的飞机结构需要在风洞中进行大量测试来测量气动力和扭矩。dSPACE MicroLabBox 此时可以展示它的强大性能，因为在这些测试中，必须捕获大量数据，并且必须实现执行器的精准控制。在风洞试验期间，必须捕获并记录下标定机翼（有时甚至整个飞机）的空气动力学特性和结构特性，以进行数据处理和数据比较。因为这些比较通常用来确定自适应结构对于不利飞行条件的适应程度，所以重点放在精度和时机上。此外，基于 MATLAB®/Simulink® 的工作流程结合 MicroLabBox 还有助于控制和协调使用不同设备的复杂试验。

“随心飞行式”自适应飞机

通过 MicroLabBox，AIMS 实验室的研究人员得出了三个重要结论。第一，与传统刚性机翼相比，变形机翼显著降低了空气阻力。第二，变形机翼可以很好地处理失速情况。图 4 中涡流形成的减少有力地证明了这一点。第三，自适应尾翼可以控制飞机的方向并提高方向稳定性。基于这三点，这项研究形成了一个总体目标，即开发一种全面集成的随心飞行式自适应飞机，它具有分布式传感器网络和适应飞行情况的尾翼和机翼。 ■

Lawren Gamble，密歇根大学

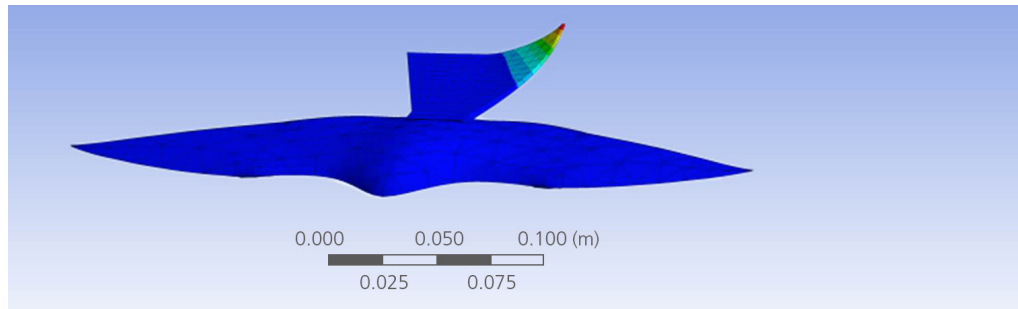


图 2：根据有限元法结果，可以得出受生物力学启发的主动式尾翼在驱动尾翼右半部时会产生偏转。

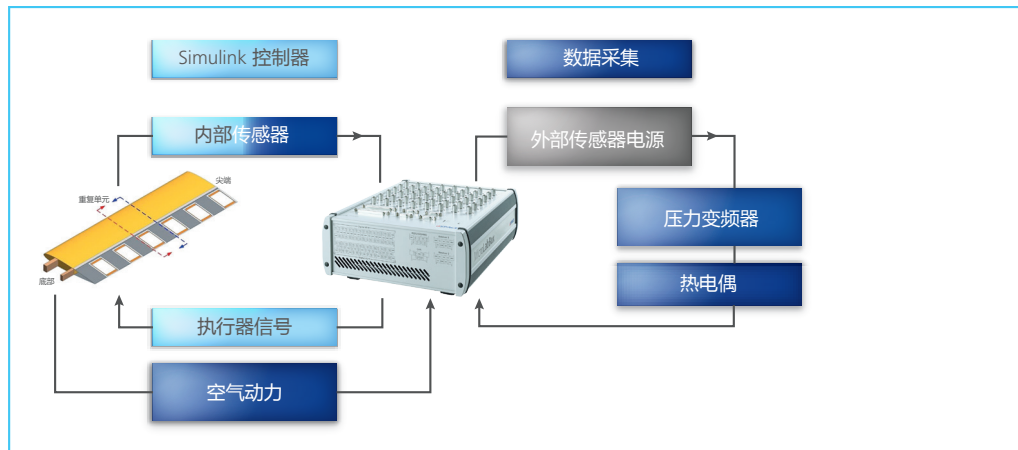


图 3：实验装置和控制系统示意图。MicroLabBox 是在风洞试验期间控制执行器并记录数据的关键仪器。

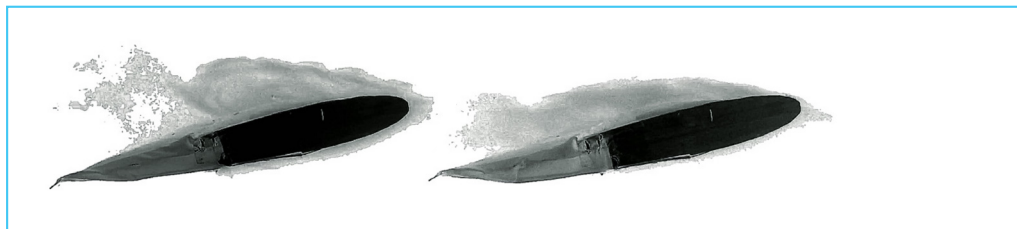


图 4：气流可视化显示了调整机翼形状以适应失速条件的效果。左：机翼未调整，从而形成剧烈的涡流。右：机翼调整，几乎完全抑制涡流形成。