

飞虫与仿生机器人

(北京大学 王树峰 编译自 Michael Schirber. *Physics*, April 27, 2020)

经过数十年的努力，人们慢慢理解了飞虫飞行的奥秘。如今，飞虫仿生机器人又带来更多发现。

尽管果蝇的身体瘦弱，但它却具有一流的飞行能力。它舞动翅膀的肌肉每秒钟可运动200个来回，是整个地球上运动最快的肌肉之一。

年复一年，生物学家不断研究飞虫飞行的奥秘，但早期研究并不成功。80年前的理论计算显示黄蜂是不能飞行的，它的翅膀太小，扇动的速度也太慢，没办法产生足够的升力让壮硕的身体漂浮在空中。这种推理的错误之处在于假定飞机或鸟类的空气动力学原理可以应用到蜜蜂和苍蝇身上，而实际上飞虫的飞行方式完全不同。

如果像鸟类那样上下扇动翅膀，那么一只厘米大小的飞虫需要以极快的速度扇动翅膀才能产生足够的升力。但是，黄蜂已经是每秒钟扇动250次翅膀，蚊子则是扇动600次。加州理工学院的生物学家Dickinson说：“飞虫扇动翅膀的能力是有极限的。”它们克服极限的方法就是前后移动翅膀，并把翅膀以高角度倾斜，因此飞虫翅膀的运动

更像游泳或者踩水。在前向伸展翅膀时，翼面大约与水平面倾斜 45° ，因此会向下推动空气，从而获得升力。向后扇动翅膀时，翼面则呈现 135° 倾角，因此仍然会向下推动空气获得升力。

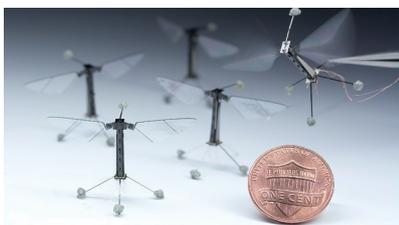
而对于飞机来说，一个比较大的翼面倾角(叶片攻角)却是个灾难性的设计，过于陡峭的斜面会使其突然失去升力，迅速下坠，这种现象称为空气动力失速。对于飞虫为什么不会失速的关键解释则是来自于1990年对飞虫仿生机器人的研究，比如Dickinson实验室的机械苍蝇(Robofly)和英国剑桥大学Charlie Ellington创造的拍击器(Flapper)。这些仿生机器人的实验揭示了称为“翼前缘涡流”的微弱涡流。它会产生一个吸引翅膀向上的负压，从而避免了失速。但这种策略的坏处就是空气阻力更大。飞虫感受到的升力—阻力比率接近1，只是鸟类的1/10，飞机的1/100。Dickinson说：“从飞行器的角度来看，飞虫的效率简直低到可笑。所以，他们会很快把燃料消耗光，于是时时刻刻都会感到饥饿。”

2013年，西雅图华盛顿大学的机器人工程师Fuller和哈佛大学的Rob Wood等人发布了第一代机器蜂(Robobee)。这是一种翼展3 cm，可扇动翅膀的机器人。这台80 mg重的线控机械可以在空中悬停7 s，并且可以进行可控的飞行。Fuller最

近做出了100 mg重量，可自由飞行的机器人。它携带了小型微处理器来控制翅膀。可以预见未来某一天，一群这样的小型机器在倒塌的建筑物中寻找幸存者，监视嫌疑犯，或者监控可燃气体泄露。

机器人也帮助生物学家了解飞虫的机动性。与鸟类不同，飞虫没有尾翼控制方向。早期对果蝇的观察表明，它们的转弯仅包括侧翻和俯仰变化，而没有偏航(身体方向在水平面上的改变)。荷兰代尔夫特理工大学的Muijres与同事一起使用称为DelFly的无尾自由飞行机器人探索了飞虫的可操纵性。他们在飞行器的快速机动期间关闭了偏航控制。令人惊讶的是，竟然发现DelFly会自动偏航以保持直线飞行。“事实证明，存在一种空气动力学耦合机制，如果能产生适量的侧倾和俯仰扭矩，那么它就会改变身体的方向，实现偏航”，Muijres说。

加州大学圣地亚哥分校的生物力学专家Gravish说：“人们对飞虫轻而易举的飞行能力赞叹不已。”对于研究的未来，他同意强大的计算机模拟可以更接近于复制飞虫飞行中发生的事情。同时，他更相信通过创建机械模型并查看其自身表现，可以获得更直观的理解。他认为，距离建造一个可以长时间独立飞行的微型机器人还有很长的路要走。



这些80 mg的飞虫仿生飞行机器人是首批厘米级飞行器之一，由哈佛大学的Rob Wood小组开发