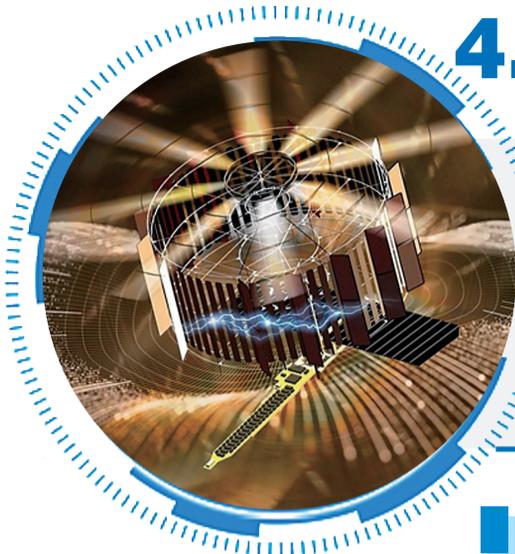
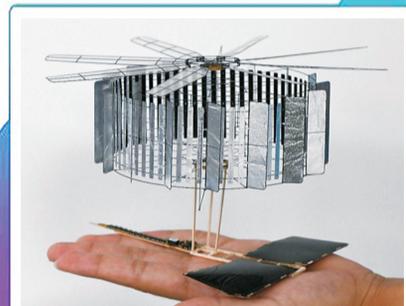


# 4.21 克的机器人是怎样飞起来的



静电飞行器示意图。



静电飞行器的结构。



这只“甲虫”机器人比矿泉水瓶盖还小。



微型机器人未来可以像真实昆虫一样在野外自由移动,并执行特殊任务。

从几百吨的飞机到几千克的无人机,许多人或许会认为,越轻的东西越容易飞起来。事实上,当飞行器重量小于10克时,其飞行时间一般不超过10分钟。微型机器人的飞行时长及其动力问题,是摆在研究者面前的一道难题。

5月8日,北京航空航天大学能源与动力工程学院教授闫晓军团队的一项研究成果,发表于《自然》子刊。该团队发明了一种用于昆虫机器人的微型动力系统,并以此为基础,研制了一种快速机动、高载重、无线可控的微型机器人昆虫。

这个只有4.21克的小家伙,就是目前世界上最轻、最小的纯自然光供能微型飞行器,名为静电飞行器“CoulombFly”。

## 比一张A4纸还要轻的飞行器

即使是再小的飞行器,想要飞起来,也必须有发动机提供足够的动力。摆在研究者面前的矛盾之处就在于,目前微型飞行器的发动机驱动部件,一般采用传统的电磁电机。但是,电磁电机在微型化后转速高、发热大,能量转化效率会急剧下降,甚至降到10%以下。

微型电磁电机效率下降后,如果采用供电方便的自然光作为能量来源,受限于太阳能电池的面积,很难满足飞行需求,飞行器就无法飞起来。

如今,北航团队自主研发的静电飞行器,翼展20厘米,重4.21克,整机仅有巴掌大小,比一张A4纸还要轻。该项研究成果由北航科研团队自主研发,将大幅增加微型飞行器的飞行时长,拓展其应用范围。

与此同时,闫晓军团队研发的另

一种用于昆虫机器人的微型动力系统,可以用于仿生机器人“昆虫”。这种昆虫机器人实现了快速机动、高载重、无线可控,能应用于灾后救援、大型机械装备检修等场景。

无论是昆虫机器人还是微型飞行器,最初的概念,都源于一根微细梁的颤振。

“在静电场环境中放置一根梁,该梁极其微细,其直径仅为二十几微米,这根梁会像头发丝一样,在静电场中颤振,这就是微梁静电颤振现象。我是研究动力的,2009年,我在实验室中发现这一现象后,想利用这个现象做点儿什么。”闫晓军说。

从这根颤振的微梁开始发散思维,闫晓军迅速联想到,“昆虫飞动的原理也是一种振动”。微梁静电颤振现象,或许能够成为微型飞行器的动力与推进的解题思路,从一根微

梁,成为一个最终能够飞起来的机器人。

闫晓军开始探索将微梁颤振机制应用于微型飞行器或微小型昆虫机器人等领域的可能性,他当时的博士生漆明净、刘志伟先后转到此方向,围绕这一现象开展了研究。漆明净博士毕业后留校任教,继续在闫晓军团队中进行相关研究。此后,在研发静电电机的申威和研发升压系统的彭谨哲两位博士生共同努力下,团队取得了突破性进展。

申威是漆明净的博士研究生,他在北航能源与动力工程学院的实验室里,展示了能够起飞的静电电机。在细小的嗡嗡声中,巴掌大小的微型飞行器轻轻向上飞起。

就是这种基于静电电机原理的微型飞行器,登上了《自然》和《科学》双顶刊官网的首页。

## 从爬行到起飞

北航博士生、团队成员詹文成也展示了团队最新的成果。拥有黑色外壳的“甲虫”,看上去还没有一个矿泉水瓶盖大,在复杂的微缩地形测试中,小巧的昆虫机器人展现出惊人的灵活性与适应性,四条细长的腿灵活摆动,在障碍物中间来回穿梭,宛如真正的甲虫。

据詹文成介绍,昆虫机器人体内植入了能源、控制、通信和传感系统,能够通过精密的传感器与智能算法,精准识别并避开障碍,执行探测任务。团队还设计了仿生奔跑步态,让这只机械甲虫能够进行步频和步幅的自适应调节,即使在高载重的情况下,也能够快速爬行。

“承载能力有很大的突破,它的自重是0.3克,可以在带一个两克重物的情况下,每秒大概爬行40厘米。”詹文成说。“目前我们最复杂的是一套视觉传感系统,重量大概是1.5克。”

这只碳纤维“甲虫”每一个细微的动作背后,都积累了团队在微机电系统、人工智能算法及仿生学设计上

15年的心血。从最早的机理研究,到后来慢慢拓展至驱动器的研究,再慢慢拓展到整机。这项研究跨越了力学、电学、控制学和机器人等多个学科,且在初期面临设备缺乏和经验不足的挑战。

用闫晓军的话说,这个过程可谓“筚路蓝缕”。

“我们最早设计昆虫机器人,其实是想让它飞起来的。但是目前微型机器人如果使用大容量电池,重量过大导致无法飞起来;如果用小容量电池,则无法提供足够的能量让其飞起来,所以就转而做成了爬行的。”闫晓军略显遗憾地说。

为了让“甲虫”能飞起来,闫晓军和团队其他成员找来生物学的相关文献,仔细研究;又找来了一些昆虫纪录片,包括蜜蜂、蜻蜓等,一帧一帧研究昆虫飞行的姿态和轨迹。

他们甚至买来蜜蜂,在实验室里观察它的翅膀如何扇动。

“蜜蜂的话,我们主要是收集翅膀的振动参数,比如翅膀来回摆动的最大角,一般是120度。还有它摆动的

频率,一秒大概是200多赫兹。它的翅膀不但会振动,还会扭动,我们也会统计它的扭转角,大概是45度。”詹文成说。

然而,团队尽最大努力,仿制的翅膀仍然未能实现像蜜蜂翅膀那么大的升力。

“还有成员不小心,被蜜蜂蜇了。”闫晓军苦笑着说,“一开始,我们以为是翅膀振动的轨迹有问题。研究过昆虫纪录片之后,轨迹做对了,升力还是不够。我们现在就卡在了这个环节。电路之类的,我们都已经用到极致了,都是非常小的。”

尽管不能飞,团队的这只“甲虫”仍然在微型机器人领域实现了重大突破。

传统微型机器人内部空间不足以承载大容量电池,必须通过外接电源持续供电,无法自由移动。而北航科研团队开发出了基于直线式驱动、柔性铰链传动的新型动力系统,“甲虫”摆脱了尾巴一样的电线,每充电两分钟,就可以自由奔跑10分钟。

## 在研究的路上不断试错

团队没有放弃让昆虫机器人飞起来的梦想。

整个课题组分成了几个不同的小组,分别研究不同的技术方案,以寻求最优的工程解决方案。团队成员、北航副教授刘志伟带着博士生詹文成继续研究昆虫机器人,漆明净则转向了静电电机方向的研究。

“在我们学校,每个学生可能都会对飞行有一些憧憬,但是想自己研发出飞行的系统真的很难。我们尝试了很多种驱动方式,都比较难。最后我们尝试了静电电机的构建,这个不是像微梁那样来回振动,而是旋转式。这样的话,功率输出就不受限

了。”申威解释。

据介绍,微型飞行器小体积、轻质量、高机动,能够在狭小空间执行拍照、探测和运输等特种任务,在国民经济领域拥有广泛应用前景。

为了解决驱动和续航的难题,团队从微型发动机的原理方面寻求突破,提出一种新的静电驱动方案,研制出了在微小尺寸下转速低、发热小、效率高的微型静电电机,并成功试飞静电飞行器。

“静电电机的概念几百年前就有了,比电池电机出现得更早,但是一直没有被利用起来,其理论方向也有些偏差。经过我们的改进和重新构

建,把它的输出功率提高了很多,从而能够实现飞行。”申威说。

据了解,这种新型微型飞行器主要由静电发动机和超轻质高压电源组成,具备0.568瓦的低功耗和30.7克每瓦的高升力优势,首次实现了微型飞行器在纯自然光供能下的起飞和持续飞行。

尽管在静电电机的方向上有了突破,但闫晓军告诉记者,团队仍然不会放弃让“甲虫”飞起来这件事。

“搞发动机研制这条路,需要有一颗热爱的心,坚持去试错,直到走通。”他说。

据《中国青年报》