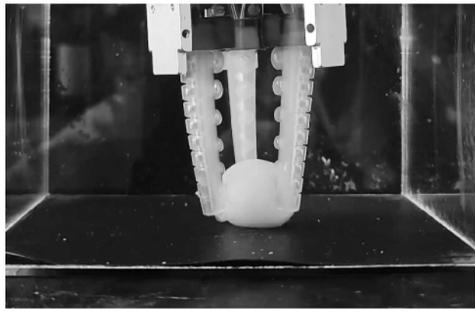


# 3D打印+水凝胶,打造章鱼吸盘般“温柔抓手”

■本报记者 叶满山

“轻一点,再轻一点!”实验室里,一只机械臂缓缓伸向盛在碗里的生蛋黄。围观的几位科研人员屏住呼吸——蛋黄表面那层薄膜几乎透明,任何轻微挤压都可能前功尽弃。然而,机械臂前端的“吸盘”只是温柔地贴住蛋黄,将其稳稳提起,再平稳放回。蛋黄完好如初,甚至没留下指痕。

这款“温柔抓手”是中国科学院兰州化学物理研究所(以下简称兰州化物所)开发的国内首款自适应水凝胶仿生吸盘。研究人员通过重构章鱼吸盘的“材料-结构-功能”三重密码,不仅实现了对粗糙表面的无损黏附,更让水下机器人首次具备了“温柔抓取”超软物体的能力。近日,相关研究成果发表于《纳微快报(英文)》。



自适应水凝胶仿生吸盘在抓取蛋黄。 兰州化物所供图

## 自然界的启示:章鱼吸盘的奥秘

提起吸盘,人们首先想到的大概是浴室挂钩或工厂里的真空抓手。它们确实“一吸就牢”,但面对潮湿、粗糙或易碎物体时,却常常失灵:抓取玻璃没问题,抓取磨砂玻璃就漏气;抓取金属没问题,抓取沾水的贝壳就滑脱;更要命的是,为了“密封”往往要用大力,导致水果被捏出坑、光学镜片被划出痕。

“这些痛点,章鱼早在几千万年前就解决了。”论文通讯作者之一、兰州化物所研究员王晓龙说。章鱼每条腕足上分布着数百个吸盘,吸盘边缘柔软,肌肉发达的唇口可以像垫圈一样,在肌肉控制下主动变形,贴合不平整的表面,形成瞬时水密封,能在粗糙、湿润甚至多孔的表面上实现强吸附,对螃蟹、贝壳等物体进行无损伤、自适应抓取。

“如果我们能复制这一套‘智能黏附’系统,就能让机器人拥有‘温柔而有力的手’。”王晓龙说。

## “吴自良院士‘两弹一星’功勋奖章证书捐赠仪式”举行

本报讯(见习记者江庆龄)9月1日,“吴自良院士‘两弹一星’功勋奖章证书捐赠仪式”在上海举行。中国科学院院士吴自良的长子吴康琪将吴自良的“两弹一星”功勋奖章证书捐赠予中国科学院上海微系统与信息技术研究所(以下简称上海微系统所)。

吴自良研究领域广泛,涉及金属、半导体和氧化物超导体等多个方面。60多年前,面对风云变幻的国际形势,吴自良带领科研团队与多家单位协同攻关,突破核工业中重要技术瓶颈,成功为我国第一颗原子弹装上“心脏”——甲种分离膜。

2008年,吴自良家属为实现其遗愿,将象征荣誉的“两弹一星”功勋奖章捐赠给上海微系统所。此次将“两弹一星”功勋奖章证书捐赠给上海微系统所,标志着奖章和证书“重逢”。“父亲曾和我强调,甲种分离膜的关键技术攻关是团队的工作,‘两弹一星’功勋奖章和证书理应给上海微系统所。”吴康琪表示。

上海微系统所党委书记狄增峰在致辞中表示,未来上海微系统所会以吴自良院士等老一辈科学家为楷模,在微系统与信息技术领域攻坚克难,让“两弹一星”精神在自主创新的征程中薪火相传。

# 飞行汽车开启试运营:科幻照进现实?

■沈海军

据美国媒体9月2日报道,美国一家公司已就其研发的飞行汽车(eVTOL,即电动起降飞行器)与两家机场签约,开始试运营。

值得注意的是,这家名为Alef Aeronautics(阿莱夫航空)的公司获得了美国企业家埃隆·马斯克创立的SpaceX的投资。该飞行汽车售价30万美元,已获得3300份订单。这一进展不仅为飞行汽车领域注入了一针强心剂,也引发人们对于未来出行方式的无限遐想。

## 马斯克与飞行汽车的不解之缘

马斯克,这位被誉为“现实版钢铁侠”的传奇人物,在多个领域展现出非凡的创新勇气和前瞻眼光。从特斯拉在电动汽车领域的异军突起,到SpaceX实现可回收火箭技术的重大突破,再到脑机接口等前沿科技的探索,马斯克的每一次尝试都颠覆了人们对传统行业的认知。

尽管马斯克曾在公开场合表达过对飞行汽车安全性和实用性的担忧,认为地下隧道是一个更现实的交通解决方案,但他却悄然参与投资了飞行汽车公司。这种看似矛盾的行为背后,实则反映了马斯克对科技发展趋势的敏锐洞察和多元布局。他深知,科技的进步往往伴随着风险和不确定性,虽然飞行汽车面临诸多挑战,但一旦取得突破,将彻底改变人类的出行方式和城市的交通格局。

阿莱夫航空成立于2015年,总部位于美国加州。除SpaceX的投资外,还得到了Draper Associates,Impact VC等知名投资机构的支持。自成立以来,该公司便致力于纯电动飞行汽车的研发,并于2022年发布了原型车Model A。在不到一年内,Model A成为首个获得美国联邦航空管理局特别适航认证的飞行汽车项目,这无疑为飞行汽车发展史上一个重要里程碑,也让马斯克的投资眼光再次

## 解构自然:材料与结构的创新融合

然而,说起来容易做起来难。传统模压、浇筑只能做出“一张皮”,章鱼的微褶皱、微通道、可变曲率膜等复杂层级结构无法原样照搬;再加上在深海高压、高盐、低温的极端环境里,普通橡胶和塑料不是变硬就是开裂,仿生之路一度受阻。

“复制这套系统,必须同时突破材料和结构两大瓶颈。”王晓龙说。

## 解构自然:材料与结构的创新融合

“章鱼吸盘的核心能力是‘无损伤吸附、复杂表面适应、动态调控’,而水凝胶的力学可控性、动态形变能力、环境响应性恰好对应这三大需求,成为连接‘自然仿生’与‘工程应用’的关键桥梁。”论文通讯作者之一、兰州化物所助理研究员刘德胜说。

此前,团队已制备出多种强韧性的水凝胶材料,但是对于仿生吸盘这种特殊设备,材料强度过高反而不好。因此,制备适合于

仿生驱动器件的柔韧性水凝胶材料成为关键。

为此,团队重新设计了一种“超分子水凝胶”——看起来像一块果冻,却兼具高韧性和可编程刚度。秘诀在于强弱氢键协同:弱键保证柔软、可拉伸;强键在外力过大时“锁死”,防止撕裂。通过微相分离技术,二者在微米尺度均匀分布,使水凝胶“既柔又韧”。

有了合适的材料,接下来就是结构制造。“为实现之前所述的功能,我们设计了带有曲率膜的吸盘结构和多通道的仿章鱼触手结构,这种结构能够有效实现温柔的接触和无损的释放。”刘德胜说。

但是,这种复杂结构的构筑很难通过传统的制造工艺实现。因此,团队选择光固化3D打印技术,利用其“逐层叠加”的原理,完全摆脱结构复杂性对制造的束缚,精准设计并制造出具有不同曲率膜的仿章鱼吸盘。通过结构优化,吸盘实现了对不同表面的可靠贴合与温和的自适应黏/脱附,解决了传统仿生吸盘“吸附稳定性差、脱附难度高”的技术痛点,为柔性仿生吸附器件的高效制备提供了关键技术支撑。

“这些挑战本质上是‘自然智慧’与‘工程技术’的差距体现,每一步突破都需要材料、机械、生物等多学科的协同。目前,我们虽在部分技术上取得进展,但与完全复刻天然章鱼吸盘的‘自适应-自感知-自修复’能力仍有差距。”王晓龙说,未来还需在仿生控制算法、智能材料研发等方面持续探索,让仿生吸盘真正实现从“模仿自然”到“超越自然”的跨越。

自然”的跨越。

## 应用前景广阔:多级仿生,开启无限可能

目前,团队开发的水凝胶抓取器能够装配在机械臂上,通过机械臂程序控制和驱动泵系统控制,精准完成各种形状物体的抓取与释放,尤其是针对豆腐、蛋黄等超软易损物体,能始终保持无损操作。

这种“水凝胶抓取器-机械臂”集成系统,为水下环境中物体的精准转运、柔性操控提供了创新技术方案,在水下作业、生物医疗等领域展现出广阔应用前景。

该系统有望应用于深海探测机器人,助力机器人在复杂海底环境中进行作业,也能用于柔性生产线机械臂,提高工业自动化水平,推动机器人在极端环境和复杂任务中的应用升级。

在生物工程方面,面对医疗领域对非侵入性、精准且低损伤技术的迫切需求,仿生章鱼吸盘的“可逆黏附与生物相容性”研究正不断深入,其柔性贴合特性有望在术后愈合、器官修复等场景中应用。

在柔性电子领域,将柔性传感器嵌入仿生吸盘中可实时调控吸附力,有望实现“感知-驱动-黏附”一体化,为可穿戴设备、生物电子接口提供新方案。

“目前,对于深海和深空高压、低温、高盐等特殊环境,我们很难在实验室模拟其真实工况。”王晓龙坦言,对于实际的工作场景,他们还将进一步开展相关工作,希望未来研究成果能从实验室走向湖泊、深海等实际应用场景,在这些领域实现广泛应用。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1007/s40820-025-01880-4>



近日,引江补汉工程迎来关键节点,其下游消能防护区顺利启动充水作业,提前一年实现工程合同节点目标,为排导系统2025年过流、取水口提前一年启动施工创造有利条件。

引江补汉工程下游消能防护区位于三峡水库腹地,宽60米、长约134米,是排导系统关键施工节点。引江补汉工程为南水北调中线后续水源工程,从长江三峡库区引水入汉江。

图片来源:视觉中国

## 发现·进展

中山大学中山眼科中心

# 构建白内障手术撕囊智能技术系统

本报讯(记者朱汉斌 通讯员邵梦云)中山大学中山眼科中心教授刘奕志/林浩添团队与合作者,成功构建了白内障手术撕囊智能技术系统——MetaS,显著提升了操作准确性。相关成果近日发表于《npj-数字医学》。

当前,白内障手术主要依赖医生个人经验进行手工操作,精确性有待提高。以手术中的前囊膜撕开这一基础操作环节为例,即便是经验丰富的术者,要达到指南所要求的“居中覆盖人工晶状体光学面边缘”这一标准,比例也相对较低。随着功能性人工晶状体的广泛应用,这一问题愈发受到术者关注,亟待新的技术手段加以解决。

为攻克这一难题,刘奕志/林浩添团队携手中山大学计算机工程学院教授黄凯/郑伟诗团队展开跨学科合作。研究团队收集了大量基于术者经验的白内障手术视频,运用Mask RC-NN、GhostNet Backbone 叠加FPN Neck等算法,成功构建了MetaS智能系统。该系统将医生的实践经验转化为数字化经验,为提升医生的撕囊质量提供了有力支持。

据介绍,MetaS智能系统包含智能评估、特征提取和手术指导三大功能模块。研究团队收集了17538个白内障手术视频用于系统的训练与验证。在智能评估环节,系统能够对众多撕囊案例进行评估,筛选出理想的撕囊样本;特征提取模块应用Mask RC-NN算法,从撕囊视频和图像中深度挖掘理想撕囊的路径及特征。在手术指导模块,系统将提取的理想撕囊数字化路径及特征应用于实际手术场景,为术者和手术机器人提供精准指导。

该研究成果为白内障手术撕囊环节带来了创新性解决方案,有望推动白内障手术向更加精准、高效的方向发展,为患者带来更好的治疗效果。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01887-6>

西安交通大学第一附属医院

# 揭示精神分裂症免疫紊乱的肠道菌群机制

本报讯(见习记者李媛)西安交通大学第一附属医院精神卫生科教授马现仓、宋峰团队系统分析了伴有免疫激活的精神分裂症患者的肠道菌群特征、血清免疫激活标志物及短链脂肪酸(SCFAs)水平之间的多组学关联,进一步揭示了肠道菌群代谢产物SCFAs在精神分裂症免疫紊乱中的作用。近日,相关论文发表于《精神分裂症公报》。

遗传学、流行病学及动物研究均提示,免疫失调在精神分裂症的病理生理过程中发挥重要作用。既往多项小样本研究发现,部分精神分裂症患者血液及脑组织中存在免疫激活现象,但其具体生物学特征仍有待进一步研究。肠道菌群可通过其代谢产物SCFAs调控免疫系统,维持肠道屏障功能并影响免疫细胞活性。然而,在炎症状态下,SCFAs的抗炎作用可能减弱,甚至诱发异常免疫反应。

该研究纳入297例精神分裂症患者和301例健康对照,通过4种血清免疫介质界定外周免疫激活亚型,并对144例患者及146例对照的粪便和血清样本开展宏基因组测序及SCFAs水平检测。

研究发现,部分精神分裂症患者存在外周免疫激活(约占46.5%)。该亚型患者呈现独特的肠道菌群特征,具体表现为产生SCFAs的菌种富集,菌群合成SCFAs的能力增强。该亚型患者的血清和肠道中乙酸、丙酸、丁酸及总SCFAs水平都显著高于非免疫激活患者和健康对照。此外,SCFAs不仅抗炎作用在免疫激活亚型患者中明显减弱,还表现出更强的促炎细胞因子分泌能力。这一结果提示,SCFAs免疫调节功能受损可能参与了精神分裂症患者外周免疫紊乱的发生。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1093/schbul/sbaf110>

得到了市场的验证。

阿莱夫航空的Model A在技术上有许多亮点。它采用了独特的方向舵式座舱设计,这一设计能够确保在空中飞行时座舱始终保持稳定,为乘客提供更加舒适和安全的飞行体验。同时,车辆配备了升降副翼系统,用于精确控制飞行汽车的垂直、水平移动和倾斜角度,使其能够在复杂的飞行环境中灵活、自如地穿梭。

为了保障飞行安全,团队摒弃了传统的外露螺旋桨设计,避免了因螺旋桨暴露在外而可能引发的安全隐患。Model A可以垂直或水平起飞,最多可搭载两人,飞行续航为170公里,这一续航里程在一定程度上满足了城市及周边区域的短途出行需求。2025年2月19日,其测试车型成功起飞,甚至还飞越了另一辆车。

Model A作为一款纯电动飞行汽车,不仅响应了全球对于环保出行的号召,减少了碳排放,而且其垂直起降的特性摆脱了对传统跑道的依赖,大大增加了飞行的灵活性和便捷性,能够在城市中的小型停机坪甚至空旷的广场等地点实现起降,为解决城市交通拥堵问题提供了全新思路。

## 飞行汽车的市场前景与竞争格局

随着城市化进程加速,交通拥堵已成为全球各大城市面临的顽疾。飞行汽车作为一种新兴的交通工具,有望打破地面交通束缚,开辟空中交通新航道,为人们提供更加高效、快捷的出行选择。国际投行摩根士丹利预测,未来20年是飞行汽车的飞速发展期,到2030年,飞行汽车行业将创造3000亿美元的市场规模。这一乐观的预测反映了市场对于飞行汽车潜力的高度认可。

阿莱夫航空计划今年晚些时候开始生产Model A,并进行首次交付。这标志着飞行汽车逐

步从概念走向现实,开始进入市场推广阶段。同时,阿莱夫航空也在积极布局未来,研发其第二款飞行汽车——Model Z,预计起售价约为3.5万美元,计划于2035年发布。Model Z更低的售价将进一步扩大飞行汽车的市场受众,推动飞行汽车从高端小众产品向大众消费品转变。

然而,飞行汽车市场并非阿莱夫航空一家独大。在中国,小鹏、广汽、亿航智能和吉利等多家车企也在积极布局飞行汽车领域,并加速推动产品商业化落地。

比如,小鹏汇天的“陆地航母”日前已经启动飞行生态建设招商。该飞行汽车预售单价在200万元以内,规划产能为年产1万台,预计2026年正式上市并启动大规模交付。广汽高域6月12日发布了新型飞行汽车GOVY AirCab,同步开启预订,市场指导价不超过168万元,计划2026年底完成适航取证并启动量产交付。

国内外众多企业纷纷入局,预示着飞行汽车市场将迎来激烈竞争,同时也将促进整个行业的技术进步和产业升级。

## 飞行汽车发展面临的挑战与前景

尽管飞行汽车的前景看似一片光明,但想要真正“飞起来”并实现大规模商业化应用,还面临许多现实挑战。

安全问题无疑是飞行汽车面临的首要挑战。作为电动智能飞行器,飞行汽车必须满足以高安全、高可靠、高稳定著称的航空技术要求和产品要求。适航是飞行汽车高安全的核心保障与关键命脉,其所涉及的电安全、热安全、智能驾驶安全、构型等问题,都是全新的。在航空领域,任何单一系统故障都不允许导致灾难性后果,这就要求飞行器必须具备“故障可工作”甚至“故障无感”的能

力。然而,目前飞行汽车在安全技术方面仍有待完善,它在城市应用时需要穿梭楼宇间穿梭,一旦失控后果不堪设想。

实用性也是飞行汽车发展道路上的一大障碍。若要担当低空交通的重任,飞行汽车需满足基本实用化指标,即载荷大于等于100千克、航程大于等于100公里。当前,在同样动力和起飞重量下,eVTOL的载荷和航程都远小于固定翼飞行器。同样的动力电池,在电动汽车上的续航能力可达到500公里以上,用于运载1至2人的eVTOL续航却只有20分钟左右。

Model A虽然飞行续航达到了170公里,但在实际应用中,考虑到天气、载重等因素的影响,其有效续航里程可能会大打折扣。如何攻克载荷小、航程短的难题,是飞行汽车走向实用化的一大技术门槛。

大众化则是飞行汽车实现普及的关键。目前,飞行汽车的售价普遍较高,这使其在短期内只能是少数人的奢侈品,难以进入普通家庭。此外,飞行汽车的驾驶需要专业的技能和培训,这也限制了其用户群体的扩大。若要实现大众化,飞行汽车须具备高度智能自动驾驶能力,以降低驾驶门槛,满足普通大众的使用需求。同时,还需要完善低空基础设施和监管体系,形成闭环和可持续的商业逻辑,降低运营成本,从而降低产品售价,让飞行汽车真正“飞入寻常百姓家”。

从技术层面来看,飞行汽车的发展需要解决三大核心技术问题。首先,动力技术作为决定飞行汽车载荷、航程和安全性的核心技术,目前主要依赖于电动化新能源动力,但存在载荷小、航程短,以及车规级新能源动力产品难以满足航规级安全性要求等问题。

其次,平台技术是飞行汽车性能与安全性的

保障。当前飞行汽车平台主要为多旋翼推进垂直起降飞行平台,未来需要研发多涵道推进、轻质结构、陆空相容的垂直起降飞行平台,使其更好适应不同应用场景。

最后,交通技术则是实现飞行汽车智能化运行的关键。高度智能自动驾驶、陆空一体、云网融合的立体化智慧交通技术,对飞行汽车的空中控制能力提出了更高要求。目前飞行汽车的飞行控制主要由遥控设备和自备程序进行,难以满足智能无人驾驶飞控技术实际要求。

除技术难题外,适航认证滞后也是产业发展的一大掣肘。飞行汽车作为一种新型的工具,但其适航认证标准和流程尚不完善,需要相关部门制定更加科学、合理、高效的适航认证体系,以加快飞行汽车的上市进程。同时,空域管理也是一个亟待解决的问题。现有空域由相关部门统一管理,但未来数万架飞行汽车可能引发“空中堵车”,需重构低空交通规则,明确飞行汽车的飞行空域、飞行路线和飞行高度等,确保空域安全、有序。

阿莱夫航空飞行汽车开启试运营无疑是飞行汽车发展历程中的一个重要节点,让我们看到了飞行汽车从科幻走向现实的曙光。然而,我们也必须清醒地认识到,飞行汽车要想真正改变人类的出行方式,成为城市交通的重要组成部分,还需要克服技术、安全、成本、法规等重重障碍。在这个过程中,不仅需要企业持续加大研发投入,不断突破技术瓶颈,还需要政府部门、科研机构、行业协会等各方力量协同合作,共同完善相关法律法规、基础设施和监管体系。

随着科技的不断进步和体系的持续完善,我们有理由相信,飞行汽车终将突破重重困境,在未来的天空中自由翱翔。

(作者系同济大学航空航天与力学学院教授、飞行器工程研究所所长)