

科技大讲堂

- 它是一种无形的“镊子”，性能超越光学镊子
- 它用声辐射力来操控微小颗粒，“运”物无声
- 它一旦应用于军事，将展现出超乎想象的潜力

国防科技大学气象海洋学院博士高东宝为您讲述——

# 声学镊子：用声波“搬运”微小粒子

■本报记者 王撰文 通讯员 张亮永

## 无形的它追随光学镊子而来

对于那些肉眼看得见却用手抓不住的微小物体，普通镊子是一种很好的辅助工具。如果是那些看不见摸不着的物体，如细胞或分子级大小的颗粒，普通镊子就无能为力了。随着生物技术、新材料技术等高新技术的发展，对细胞、分子级或纳米级微小物体的移动和操控，就成为摆在科学家面前的一道难题，呼唤突破传统认知的新工具，创造出能夹取微小物体的新镊子。

需要激发创新。1986年，物理学家阿斯金开始研究神奇的光学镊子技术：他利用光辐射压原理，用激光来移动操纵原子、分子和生物细胞，并将技术推广到生物学领域，有效促进了相关科技的发展。32年后，阿斯金的“光学镊子及其在生物系统的应用”，获得2018年诺贝尔物理学奖。

但由于受基本原理的限制，光学镊子的应用仍存在诸多局限性。因为光学镊子以激光为动力源，其系统本身的尺寸不可能太小，又由于激光穿透性有限，光学镊子只能应用于透明介质。再者，激光光源强度较大，运用时会对背景介质或细胞微粒产生损伤。

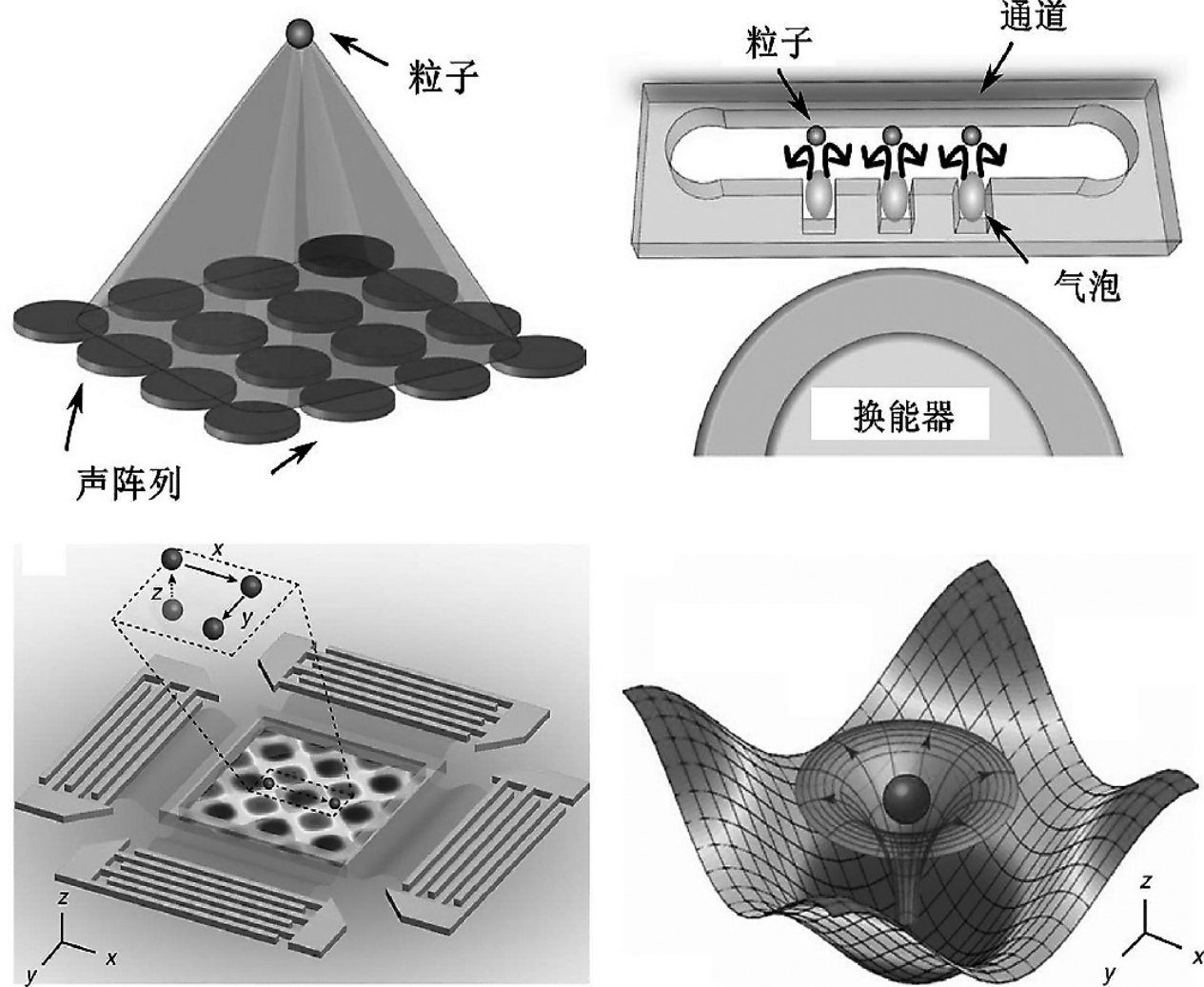
那么，还有没有比光学镊子更好的镊子呢？

只有想不到，没有做不到。一种用声音来移动和操控细胞或微小颗粒的技术真的产生了。这就是声学镊子。

从理论发展的历程来看，提出声学镊子的概念，最早可追溯到1991年。在阿斯金提出光学镊子概念5年后，佛蒙特大学的吴君汝教授受其启发，在实验中利用两束聚焦声波产生的驻波场，实现了对270微米直径的乳胶粒子和一团青蛙卵的捕获及移动，首次证明了声学镊子的可行性。此后，科研人员分别从原理、装置及应用等多方面，对声学镊子技术进行了拓展和推动，使其向着操控精度更高、系统更成熟、实用性更强等方向发展。

## 神奇特性令世人刮目相看

与光学镊子不同，声学镊子是利用



声学镊子基本原理示意图

声辐射力原理来捕获和控制微小粒子的一种前沿技术。声波的能量虽小，但其单位输入下的辐射力可达激光的10万倍。此外，声波是一种弹性波，可在包括流体、固体等任何介质内传播，不受介质透明性、电磁特性等影响。其能量和工作频率与医学领域的超声成像系统参数相当，可实现对单个细胞或纳米颗粒的操控，并确保生物体和目标粒子的安全。

从原理上来看，声学镊子可分为驻波型、行波型和声流型3种。

驻波型声学镊子，是通过多束声波相互叠加，在声场中产生强弱分布的驻波场，压力最大的一系列点称为波腹，压力为零的点则称为波节。只要声源特性不变，波腹和波节的位置就不会改变。这样，当一个微小颗粒或单个细胞落入这样的声场中，在声

学辐射力的作用下，将被“推”到波腹或波节位置，并“锁定”在那里，被“镊子”牢牢夹住。然后，通过声源调节来改变波腹和波节的分布，从而将其移动到想要的位置。它还可通过粒子特性与声源之间的相互关系，改变声场特性，控制一个区域内微小粒子或单个细胞的筛选和分类。

行波型声学镊子，是通过不同声场产生方式形成稳定的压力波节，从而捕获和控制目标粒子或单个细胞；而声流型声学镊子，则是利用微气泡或微结构的振荡，在声场中产生较强的声辐射力，从而实现对其中的细胞、微粒和微组织的控制。

声学镊子操控的微粒，最小的尺寸可到1微米左右。从维度来看，既可实现一维和二维空间粒子的排列组合，也能实现粒子在三维空间的移动变换。

目前的科学实验，已实现对塑料微球颗粒、牛血细胞等微小颗粒的操控，甚至能对毫米尺度的线虫生物体进行捕获、移动和拉伸等控制。

从原理上讲，由于声波波长尺度跨度很大，在一定条件下，声学镊子可实现对超过厘米级粒子的大尺度粒子及其结构的捕获和控制。它不但可控制微小粒子，还可对流体介质产生影响，对形成特定的流场环境有很大的价值。

## 应用潜力将助推军事变革

作为一种新兴前沿技术，声学镊子目前尚处于理论研究阶段，一些技术难

点有待突破。但正因其拥有的神奇功能和研发潜力，让科学家们信心十足。尤其是世界科技强国，在这方面投入了大量人力、物力进行研究，其相关实验已取得重要进展。

在生物医学领域，声学镊子对生物组织和目标粒子具有良好的安全性和操控性，它可将药物分子定向运输到病变部位，又不会对其他生物组织器官造成影响和损伤，从而实现精准快速的治疗。声学镊子还可通过不同声波场的叠加，对不同细胞群进行分离、筛选和分类，实现对单个细胞特性和生长过程的观察控制。因此它在治疗肿瘤等重大疾病方面具有先天优势，或对促进相关重大医学研究和提高人类健康水平带来革命性突破。

在新材料领域，声学镊子可通过对单个粒子运动状态的精确控制，科学合理搭配材料分子组成，如3D打印制造出各种高精度的新型分子结构，并能实现对结构特性的完全自主控制，从而研发出人们所需要的高性能纳米材料和智能材料，促进新材料技术和人工智能技术的进步。

未来，随着声学超构材料技术等前沿技术的发展，声学镊子技术将实现重大突破，必将促进军事技术发展，对新军事变革产生重大影响。

——声学镊子可用于完成分子级高精度微型结构的加工制造，为微型无人机、迷你机器人、发动机高精度部件等高精尖武器装备和核心部件的研发，开辟新途径、提供新手段。

——利用声学镊子对粒子运动状态的精确控制和“如你所愿”的合理搭配，研制性能更好、抗腐蚀性更强的新型军用涂料，提高战机、舰艇等武器装备的隐身性能和防腐蚀能力。

——声学镊子对生物细胞和药物分子良好的安全操控性，将会促进战场快速医疗等技术的发展。

——声学镊子可对流体介质产生影响，将对战场环境建设提供新思路。

——声学镊子可通过对海洋战场环境的干扰和再造，实现对敌方目标运动轨迹的干扰和控制，在未来海上作战应用中堪当大任。

**专家小传：**高东宝，国防科技大学气象海洋学院讲师，理学博士，主讲《声学基础》《声学实验技术》等研究生基础课程，主持和参与国家自然科学基金、国家高技术发展研究相关项目10余项，发表论文20余篇。

## 科技云

科技连着你我他

■本期观察：任增荣 杨孟德 王 帅

6月17日发生的四川长宁6.0级地震，让抗震减灾又一次成为公众高度关注的话题。地震灾害突发性强、危害性大，特别是7级以上的大地震，能使很多建筑物顷刻间化为一片废墟。如何借助科技手段，利用先进仪器，准确探测生命迹象、迅速判断被困人员位置，对于提高应急救援效率和降低震后人员伤亡率，具有十分重要的意义。本期《科技云》，就为您介绍3种采用不同原理的生命探测仪。

### 红外生命探测仪



任何物体只要温度在绝对零度以上，都会产生红外辐射。人体就是天然的红外辐射源。红外生命探测仪就是利用人体与周围环境红外辐射特性的差别，以成像的方式把要搜索的目标与背景分开。

红外生命探测仪能经受救援现场的恶劣条件，可在震后的浓烟、大火和黑暗环境中搜寻生命，其主要原理是通过光学系统，将接收到的人体热辐射能量聚焦在红外传感器上，转变成电信号，处理后经监视器显示红外热像图，从而帮助救援人员确定被困者的位置。

前不久，瑞典AGA公司利用这一技术，将温度的测量、修改、分析及图像采集、储存合于一体，研制出集成程度更高的便携式多功能热像仪，可用于军事侦察、救援等。

### 音频生命探测仪



音频生命探测仪应用了声波及振动的原理，采用先进的微电子处理器和声学振动传感器，进行全方位的振动信息采集，可探测以空气为载体的各种声波和以其他介质为载体的振动，并过滤掉非目标的噪声波和其他背景干扰波，从而迅速确定被困者的位置。

高灵敏度的音频生命探测仪，采用两级放大技术，探头内置频率放大器，接收频率为1~4000赫兹。主机收到目标信号后再次升级放大。这样，它通过探测地下微弱的诸如被困者呻吟、呼喊、爬动、敲打等产生的音频声波和振动波，就可判断生命是否存在。

音频生命探测仪还包括一套完整的信号检测、监听、选取、储存和处理等功能，通过高度灵敏传感器数学模型的运用，对声波及振动进行有效的判定，并准确锁定信号源位置。

### 超宽谱雷达生命探测仪



前不久，科学家研制出融合雷达、生物医学工程技术于一体的超宽谱雷达生命探测仪，它是目前世界上最先进的生命探测设备。工作过程中，它主要利用电磁波的反射原理，通过检测人体生命活动所引起的各种微动，得到呼吸、心跳的有关信息，从而判断有无生命迹象。

研究人员称，超宽谱雷达生命探测仪拥有主动电磁信号连续发射机制，其区域性探测功能和穿透能力极强，探测距离达30~50米，穿透实体砖墙厚度达2米以上，可隔着几间房探测到人员，并具有人体自动识别功能，能探测到被埋生命的呼吸、体动等生命特征，然后精确测量被埋生命体的距离深度。

同时，超宽谱雷达生命探测仪具有较强的抗干扰能力，探测方式不易受到温度、湿度、噪声、现场地形等因素的影响，具有广泛的应用前景。

## 科普笔记·AI⑦

嗨，大家好，我是小白！谢谢大家一直关注着我的朋友AI。时光荏苒，AI的发展日新月异，涉足的领域也越来越广。本期，小白就带您畅游未来，看看AI“牵手”教育会擦出怎样的火花。

2029年“六一”国际儿童节，北京致远学校小学三年级2班要组织全班小朋友参观中国科技馆。这一天一大早，班里的小墨就兴冲冲地把VR眼镜和触感手套装进了粉红色书包。除了参观科技馆，能与同学小麦“见面”同样让她高兴。

就在昨天，我通过视频传感器参观了小墨的教室。智能双师互动大

屏、全息投影透着浓浓的科技感；暗红色木质复古书架和墙上的清明上河图散发着浓浓的人文气息。“哎，怎么才30套桌椅？刚才班主任明明说明天有60名同学参观科技馆啊！”带着心中的疑惑，我决定明天和小墨一起去见见班上其他的几十名小朋友。

小墨对宇宙最感兴趣，一进馆就直奔“太空探索”展区，看着各式各样

的火箭、着陆舱、空间站模型，她没有立刻跑过去，而是先戴上了VR眼镜和触感手套，之后拨通了小麦的电话：“小麦，咱们今天要看大火箭啦！”“好！”电波那头穿着同样行头的小麦也很兴奋。

原来，三年级2班是致远学校推行“AI+课堂”的试点班，班上的每个小朋友都有一位搭档，他们同样是本班的一员，比如小麦就是小墨的搭档。小墨与小麦相距300公里，一个生活在繁华都市，另一个则生活在太行山东麓一个叫刘家岭的小山村。

“空间站内部原来是这样的！”小麦通过VR眼镜仔细观察着，触感手套让她体验到实物的质感，小墨摸哪个按钮，小麦也能感受到。

不只是参观，包括VR眼镜在内的整套AI设备，能为三年级2班其他30名分布在全国各地的小朋友提供沉浸式的课程体验。在课堂上做实验，小麦也能看得见、摸得到甚至嗅得到。AI教学系统还能把课程中涉及到的定义、定理和天文、地理等知识形象地模拟出来，呈现在学生们面前。孩子们看到的不再是平平的黑板，而是生动的大千世界。

学校还为“AI+课堂”试点班的每名同学配备了一套智能学习助手“小

华”，它是孩子们的“学伴+老师”，能忠实地记录学生学习的全过程，也能根据学生的自身特点，推荐适合的课程和课外读物。

“小华”还让教育过程变得更细致、可追溯。它全程记录学生预习的内容、课堂上的发言、做过的习题、复习的知识点和读过的书籍，并据此生成个人学习成长曲线。每名学生的学习状况有差异，所以三年级2班每个孩子的家庭作业也不尽相同。听课认真、基础扎实的学生要完成高难度的题目；上课走神、理解稍差的学生自然要多做些基础题，或许还要接受“小华”的额外辅导……

科技馆之旅结束后，北京某新媒体的高记者专程驱车来到了刘家岭，找到小麦，想探访AI给乡村教育带来的新变化。

“小麦，有了智能教育系统，你能‘真实’地触摸外面的世界，你觉得还需要上乡下的学校吗？”高记者笑呵呵地拉着小麦的手问道。

“当然需要啦，我可舍不得我们的董老师！”

董老师的身旁还依偎着其他几个孩子，鬓角的几缕银发凝结着岁月的风霜，孩子们的欢声笑语则是对这位年过半百的乡村女教师的褒奖。她在

# AI进课堂之后……

■谢啸天 张旭日 陆文山



胡三银绘