

战场上,一旦释放强电磁干扰信号,便会出现这样的现象:雷达屏幕一片“雪花”,通信耳机“吱吱”作响,导航系统迷失方向……

面对强电磁干扰,以传统电子学为基础的雷达、通信、导航等设备很可能无法正常工作,甚至永久失效。

如今,这一窘境将被改变。这主要归功于一种叫作“原子无线电技术”的“黑科技”。

今天,让我们揭开这一“黑科技”的神秘面纱,探索原子无线电技术是如何穿透电磁“迷雾”、看清复杂电磁世界的。

# 应用前景广阔的原子无线电技术

■安强 杨柳 方妹阳

## 高技术前沿

### 伴随量子信息技术脱颖而出

当前,以量子计算、量子通信、量子探测为代表的量子信息技术发展迅猛。作为新一轮科技革命和产业变革的前沿领域,量子信息技术为人们认知和调控微观世界打开一扇“新窗口”,催生出诸多高精尖技术,具有重大科学意义和战略价值。

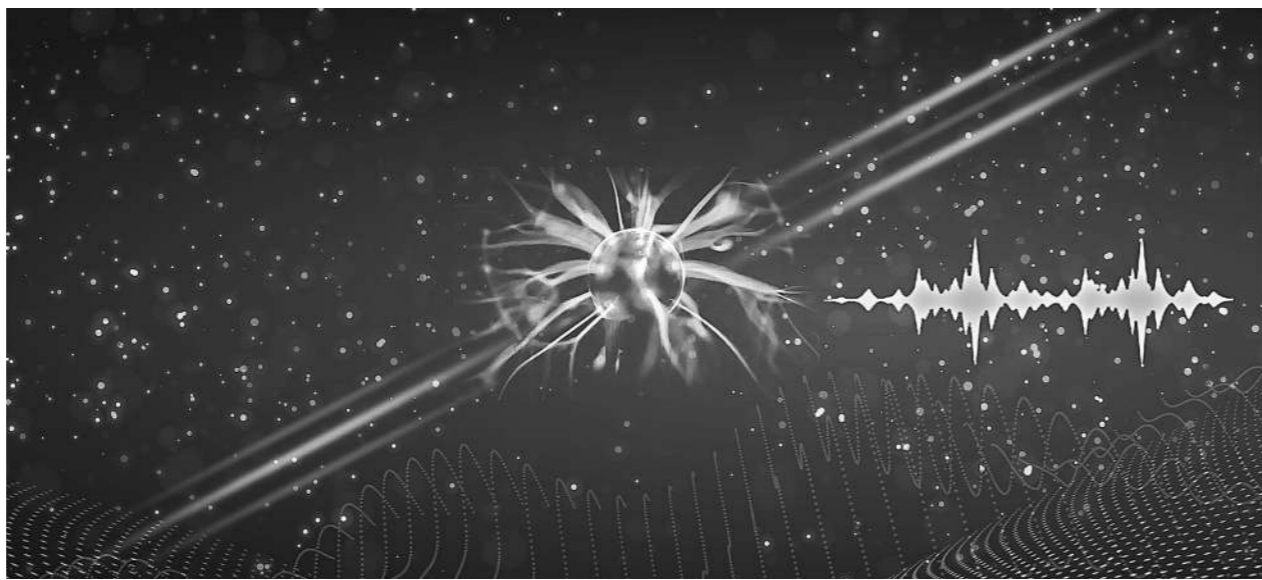
原子无线电技术,就是量子探测技术在电子信息领域具体应用的体现。它通过探测空间电磁场中原子的状态变化,精确感知看不见、摸不着的空间电磁场信息。

原子无线电技术下的原子状态,仅对某一频率的电磁波作出响应,表现出很强的专一性。因此,原子无线电技术不受其他电磁干扰信号的影响,在复杂电磁环境下仍可发挥出应有水平。

2012年,美国俄克拉荷马大学的研究团队,首次在室温下使用激光操控“里德堡原子”,实现了电场强度的测量,灵敏度比传统微波电场计高了近100倍。

这一巨大优势,彻底颠覆了以电子学为基础的传统电磁信息感知体制,标志着原子无线电技术的诞生。

自此,原子无线电技术步入了发展的“快车道”。近10年来,研究人员运用复杂的光谱技术,实现了原子无线电技术灵敏度大幅提升。他们通过改进实验系统,实现了对空间电磁场频率、极化、相位的测量。当前,科研人员初步展开了原子无线电技术在雷达、通信、成像、计量等传统电子信息领域的应用研究。



原子无线电技术原理概念图。

### 精确感知让信息“尽收眼底”

传统电磁信息感知体制,以电子学为基础,噪声大,不够灵敏。原子无线电技术的出现,使这一体制实现了跨越式升级。该技术能通过测量原子的量子状态,从而获得空间电磁场信息。

——以原子为“媒”。众所周知,原子是构成物质的最基本单元,由原子核和核外分层排布的电子组成,核外电子就像地球一样围绕原子核这个“太阳”进行“公转”。不同的是,电子的运动轨道不像地球那样一成不变,它可吸收能量“跳”到半径更大的轨道上,甚至在不同半径的轨道上“跳来跳去”。这一现象被称为“能级跃迁”,核外电子处于较大轨道半径上的原子,被称为上述的“里德堡原子”。

原子核外电子的“跳”变轨道具有多样性,轨道间隔所对应的频率覆盖范围很广,从几赫兹到几十赫兹不等。当外界电磁场频率与轨道间隔所对应频率相同时,就会产生“同频共振”,使“里德堡原子”的量子状态发生变化。通过测量“里德堡原子”的量子状态,即可获得空间电磁场的各种信息。

——以光子为“尺”。光学频率的测量,是世界上公认的目前所能测量物理量中最为精确的测量方式。它就好比一把尺子,能像测量长度一样精确获取包括时间在内的各种物理量。

在原子无线电技术下,使用激光照射原子,原子吸收激光能量后,原子核外电子“跳”变到更大的轨道半径上,成为“里德堡原子”。当空间中存在电磁场时,“同频共振”会使“里德堡原子”的量子状态发生变化,从而改变原子对激光的吸收性质。通过测量激光穿过原子后透射激光的光谱信息,即可间接获取空间电磁场的各种信息。

由此可见,原子无线电技术,可将空间电磁场信息测量转化为对光学频率的精准测量,具有极高准确度。

### 在军事领域应用前景广阔

原子无线电技术,具有高精度、高灵敏度、超宽带、无需校准以及抗干扰、抗毁伤能力强等诸多优点,在电子信息系统及各类武器作战平台“大有作为”。

可以说,它是下一代雷达、通信、导航等设备的核心关键技术,在提升作战能力等方面应用前景广阔。

——提升对弱小目标的探测能力。传统的电子学电磁信息感知技术,

利用电磁场改变金属中自由电子运动状态、产生电流的方式,来获取电磁场信息。然而,金属中的自由电子并不“自由”,它会在金属中进行随机热运动,产生的热噪声会导致提取信息不准确,且不能及时对微弱电磁场作出响应,金属材料也会对探测场产生干扰。即使在测量前进行校准,也无法精准快速测量电磁场。原子无线电技术使用光学手段进行测量,能克服自由电子热噪声影响。即便在极弱的电磁场作用下,也会产生“同频共振”,具有超高灵敏度,特别适用于对隐形飞机、无人机等弱小目标的远距离探测。

——提升与武器装备的兼容能力。传统的无线电接收,通常需多个天线、放大器和其他组件接收信号,单个天线无法实现宽频谱信号接收。同时,频率越低,所需天线尺寸就越大,这极大限制了其在武器装备中的应用。原子无线电技术在实际系统应用中,仅使用一个毫米甚至微米量级的原子气室,即可实现全频段电磁信息感知,突破了传统电磁信号接收天线尺寸的限制。小型化、集成化的巨大优势,使该技术可在单兵、单车、单机等各类作战平台上大显身手。

——提升装备在复杂电磁环境下的生存能力。传统电子学电磁信息感知技术,在强电磁辐射情况下,接收机易损毁。在原子无线电技术下,原子体系可被重复利用,在强电磁辐射情况下仍可正常工作,能有效抵抗电磁辐射。另外,原子体系感知电磁场的方式灵活、隐蔽,不像传统天线会强烈吸收电磁波能量,造成天线位置处的电磁场发生较大变化而暴露目标。因此,相关设备在战场上能顽强地生存下来。

随着量子信息技术的快速发展,在未来战场上,原子无线电技术发挥出的作战效能将会远超我们的想象。

版式设计:梁晨

## 科技云

科技连着你我他

■本期观察:陈柏鹏 赵志宝 夏昊

随着机械制造、人工智能和生物技术的不断发展,借助智能机械结构突破人体生理机能极限,已不再是天方夜谭。当前,“人机融合”的研究成果正逐步得到运用。

### 增强视觉系统——让人眼观六路



在作战环境日益错综复杂的战场上,仅凭肉眼或传统光学器材实现全面观察、感知战场态势,越来越困难。于是,增强视觉系统应运而生。

当前比较成熟的增强视觉系统,是基于混合现实技术开发的。这种系统通过多种传感器、透镜式显示器以及环绕音效,能为士兵营造出一个现实景物和虚拟信息相融合的综合场景,让士兵实时掌握目标数量和方位、武器装备、天气情况等数据。同时,还可辅助瞄准,从而实现精准射击。

未来的增强视觉系统,会更强调“人机融合”,将精密的机械结构融入人的视觉系统,实现更彻底的电子视觉感官输入,使人拥有一双“火眼金睛”。

### 增强听觉系统——让人耳听八方



战场上巨大的爆炸声,极易造成听力损伤,甚至造成失能和引发应激障碍。即使在平时训练中,枪炮声也能引发耳鸣等不适症状。增强听觉系统的出现,可为士兵打造一双攻防兼备的“顺风耳”。它不仅能有效降低高能声波带来的危害,还能让士兵听得更清更远。

在防护功能上,增强听觉系统拥有更宽泛灵活的听力范围,能过滤和消除高强度噪声,避免对听觉器官造成损伤。在战斗中,增强听觉系统不仅能接收微弱声响,提升战友间通过语音交流的能力,还能感知到人耳无法感知的超声波和次声波,甚至像炮兵校准定位雷声一样“听声辨位”,帮助士兵提前做好接敌准备。

未来,和其他植入性改造手段一样,增强听觉系统也需在无创性和可逆性植入等方面持续改进,以便更易于被人们所接受。

### 增强控制系统——让人操纵自如



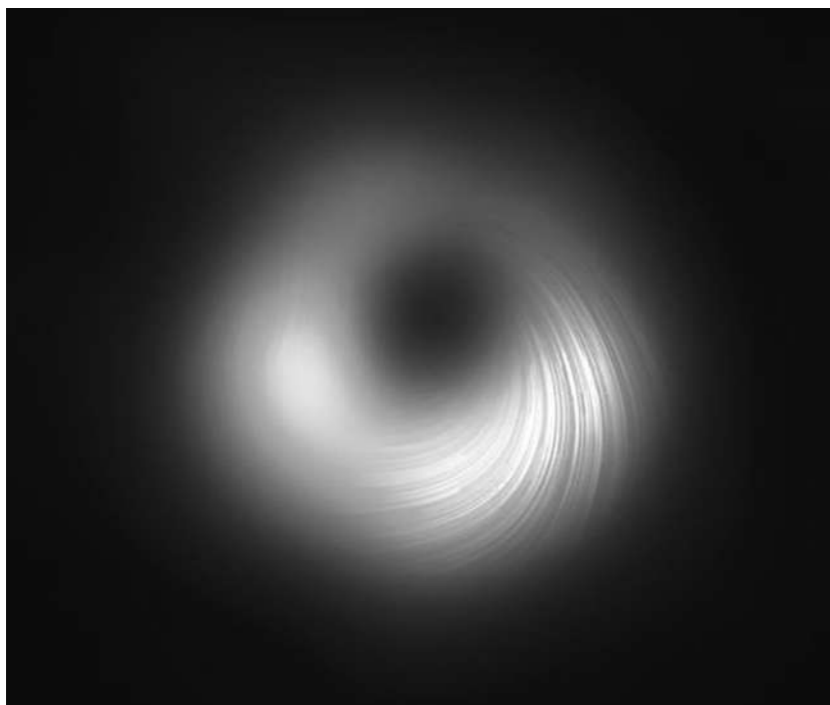
士兵在战场上担负的任务越来越具有挑战性,对力量、速度和耐力提出了更高要求。增强控制系统可通过内部强化来实现人体机能提升。

增强控制系统通过选择性激活特定类型神经元来增强对肌肉的控制,让身体动作更灵活、更稳定、更有力。在植入性传感器网络、计算单元和刺激器网络的协助下,增强控制系统能按照预编程,让身体做出一整套流畅的肌肉反应。这不仅可以帮助士兵完成不熟悉的复杂任务,还能自动避开危险,降低士兵伤亡率。

增强控制系统还能给士兵提供与外部设备互联的接口,实现有生命力和武器装备的无缝交互,达到“人机合一”目的。

## 给黑洞“拍照”的科技含量

■李会超



由射电望远镜观测到的M87黑洞新图像。

们日常接收卫星信号的“大锅”天线相似,主体是一个抛物面形的反射面。无线电信号通过反射后,汇聚在望远镜焦点的接收装置上,再输入到望远镜后端的分析记录仪器中作进一步分析。射电望远镜一般都装配有能调整指向的机械装置,以驱动射电望远镜指向不同天体,还可跟踪天体,保持持续观测。

在天文观测中,望远镜对物体细节的分辨能力,与波长和望远镜口径相关。由于射电信号波长比可见光信号波长高出不少,因此射电望远镜的口径也要相应扩大,才能保证分辨能力不降低。同时,波长增加后,对望远镜镜面精度的要求会随之降低,也为制造更大口径望远镜提供了可能。目前,最大的可动射电望远镜口径已达110米,比光学望远镜口径大不少。

有一类特殊的射电望远镜,依托天然低洼地形修建,口径可做得更大。美国于上世纪60年代在波多黎各修建的阿雷西博射电望远镜,口径达365米,一度是世界上最大的射电望远镜。在我国的500米口径射电望远镜FAST建成并投入使用后,“世界之最”已属FAST。

特别值得一提的是,分布于不同位置的射电望远镜,还可进行联测,形成一个等效口径更大的望远镜,能进一步提高观测的分辨率。M87黑洞“照片”,就是通过全世界不同地区的望远镜联测得到的。此时望远镜的等效口径,与地球直径大小相当。

既然射电望远镜接收的是我们肉眼看不到的信号,那为何又能拍出“照片”呢?实际上,射电望远镜的“杰作”体现的是信号强弱起伏。在对信号进行可视化处理时,信号更强的地方给予更亮的视觉效果,用美观的颜色进行着色后,就变成了直观照片。

肉眼可感知的光波长度在380纳米~750纳米间,我们也将这一范围内的光称为可见光。而天文学家所关注的无线电波段,波长在1毫米到几十米之间。这些无线电信号在天文学里有一个特别的名字——“射电信号”。

射电天文学的诞生,源于一次偶然。1932年,美国贝尔实验室工程师扬斯基在进行短波通信干扰源研究时,发现一个来源奇特的信号源。经过反复试验和分析后,扬斯基认定,该信号源并非地球上的发射装置,而是宇宙中的遥远天体。自此,天文学家才认识到天体射电信号的存在,并在这一波段上加以研究。

大部分射电望远镜的外形,和我

## 科学家聊宇宙

2019年,中国科学院上海天文台和国际合作伙伴共同发布M87黑洞“照片”。这是人类历史上首幅黑洞图像。

近日,他们再次公布M87黑洞新图像。与之前的图像相比,新图像显示出更多细节,更为清晰。

给黑洞“拍照”的“相机”,并非我们一般概念中的望远镜,而是接收无线电电信号的射电望远镜。

光和无线电本质上都可视为电磁波,两者区别主要在于波长不同。人

## 越智能越需要控制

■魏岳江 于童



胡三银/绘

## AI与军事

随着AI在武器装备研发领域中的广泛运用,无人系统技术性能也在不断提升,逐步实现由人为控制向人机交互、自主攻防作战发展。

所谓无人系统,是指作战机器人、无人战车、无人舰艇、无人潜航器、无人机等系统的统称。据统计,目前全球超过60个国家的军队装备了军用机器人,种类超过150种。当下,无人系统研发仍在紧锣密鼓进行,无人系统演练风生水起,人机结合部队建设初见端倪。

未来,一些国家的兵力或将被机器人替代。作为机器人的控制者,士兵可为每只机器人分配一项特定任务,或在任务框架内赋予机器人一定的自主权。

今年2月,俄媒首次披露“猎户座”无人机在叙利亚的实战画面,还公开了该无人机向地面恐怖分子目标设施精确打击的一系列场景。俄陆军诸兵种

合成旅已组建无人机分队,每个空降师和空降旅内都要成立负责实施侦察的无人机排或无人机连。

美国国防部高级研究计划局预计在2021年晚些时候,进行规模较小的AI模拟空战,计划在2023年末和2024年进入第三阶段,实现用AI“飞行员”驾驶完整的喷气式飞机进行实际空战。去年,美国空军组织了5次模拟空战,AI“飞行员”击败了F-16战斗机飞行员。其中一次,AI战斗机在向对手开火前完成的翻转动作,超出了人类飞行员能力范围。

随着AI的深度不断运用于军事领域,军事指挥官正赋予AI越来越多的指挥权、决策权。

在全球展开的新一轮智能技术竞赛,将催生肌肉型机器人深度学习、深度思维、深度判断。届时,科幻中AI飞行员在没有人类干预的情况下自主选择并打击目标或将成为现实,将有可能把人类置于灾难边缘。

有专家呼吁,国际社会应尽快出台相关智能技术研发、运用的法律法规,确保AI安全、可靠、可控。