

## ★ 高技术前沿

# 隐蔽通信技术为信息穿上“隐形衣”

■张宇思 施育鑫 李伦

## 战争催生的信息“隐身术”

隐蔽通信拥有悠久历史,与人类活动相伴相生。在冷兵器时代,人们已经可以通过隐形墨水来秘密传递信息。早期的隐形墨水多为天然材料,如柠檬汁、牛奶、明矾等。这些文字在正常光线下不可见,只有使用特定方式才能重现。

无线电技术诞生后,突破了地理环境的限制,成了近现代战争中信息交互的法宝。然而,无线电定位测向仪的应用让看不见、摸不着的无线电信号无所遁形,发射信号的通信方极易被发现、定位。于是,一项需求出现了:如何在敌方侦测下安全传递情报?这一挑战有力推动了隐蔽通信技术的发展。

二战期间,时域隐蔽通信在战场上十分活跃。当时,传统的无线电测向仪完成定位至少需要一分钟。于是,德国海军玩起了“快闪战术”,将常规报文压缩成短编码,经加密后在几十秒内急速发出。这一度让传统无线电测向仪“束手无策”。对此,美军改装了当时最先进的“哈夫-达夫”测向仪,将测向时间缩短至几秒,扭转了局势。

为了应对该型测向仪,1944年,德国海军开始研制“信使”猝发通信系统,致力于将发送时间压缩到半秒以内。不过,直至二战结束,“信使”也未能投入实战,失去了在战场大显身手的机会。

二战后,美军继续推进隐蔽通信技术的实战化与体系化。

20世纪80年代,美军在B-2隐身轰炸机上成功整合了多种隐蔽通信系统,实现了从“外形隐身”到“电磁隐身”的关键跨越。进入20世纪90年代,他们进一步将多部战术电台远距离组网,为海军陆战队构建起一张协同作战的“静默之网”,推动隐蔽通信从单点装备发展为可部署网络体系。

在冷战对峙的时代背景下,隐蔽通信技术继续受到战略需求的驱动。

为实现对核潜艇的全球、可靠且隐蔽指挥,苏联曾大力推进覆盖广袤国土的超长波电台网络建设,著名的“格里达”系统便是其中的典型代表。该系统旨在通过极具穿透力的低频电磁波联系深海的潜艇,以支撑其隐蔽部署与即时响应。

隐蔽通信技术的发展并未随着冷战的结束而停止。新形势下,军事通信的安全需求愈发迫切,各国纷纷加快了隐蔽通信技术的研发步伐,着力构建覆盖多域的一体化隐蔽通信体系。

近日,合肥工业大学等中外研究团队合作,提出“双向空海无线光通信系统隐蔽性能”解析模型,为构建下一代空地海一体化安全网络提供了关键理论支撑。相关成果发表于通信领域顶级期刊JSAC。

无论是民用领域还是军事领域,维护信息安全的的需求都越来越迫切。特别是在现代战场上,如何在敌人监测下,既保持电磁“隐身”,又能与后方实时

通联,是抢占制电磁权、制信息权的重要保证。

于是,隐蔽通信技术应运而生。其重要意义在于,隐匿的通信行为难以被发现,被恶意干扰的可能性大大降低。在“发现即摧毁”的强对抗场景中,这一技术尤为关键。

那么,如何在纷繁复杂的电磁空间有效隐蔽通信信号?其背后的科学原理与设计智慧又是什么?请看本期解读。



深海之下的无声电波。

资料图片

## 多域发力推动技术迭代升级

1983年,密码学家西蒙斯提出了经典的“囚徒模型”,深刻揭示了隐蔽通信的核心:其本质并非如何加密信息内容,而是“如何隐蔽通信行为本身”。若能成功隐匿通信行为,在军事上就能有效避免被敌方侦察、干扰、破译或摧毁。

那么,如何实现通信行为的“隐身”呢?

时域上快如闪电。通信的发送端在绝大多数时间保持静默,只在预设的瞬间突然高速发射信号,随即恢复静默。这就像特工在人群中快速交接情报,等监视者反应过来,情报早已交接完毕。

频谱上化整为零。发送端把要传递的信息,用一串高速的“直扩码”处理,原本的信号频谱被大幅展宽几十倍甚至上百倍,集中的信号功率也随之被“摊薄”在宽阔的频谱中。在监测设备上,直扩信号形同背景噪声,只有掌握特定直扩码的接收方,才能把这些零散、稀薄的信号重新聚合。

空间上精准指向。随着天线技术的发展,一种更为主动的隐蔽手段——波束成形技术,在空间维度上展现出强大威力。通过调控天线阵列各单元的信号振幅与相位,或借助智能超表面技术主动调控无线信道,信号汇聚成一道可控定向波束,更加精准地射向预定接

收方。这意味着即使侦测设备的灵敏度很高,只要不在波束方向上,就很难捕获有效信号。

路径上伪装多变。为了实现远距离传输,隐蔽通信引入了“接力传递”的思路:在传输路径上分散部署多个中继节点,信号像“击鼓传花”一样传递,并且每一次传递都可以重新“伪装”。这不仅降低了信号单次发射功率,还引入了多变的传输路径来迷惑潜在的监听者,从而显著提升整体隐蔽性。

时域、频域、空域的多域发力,信号伪装、多中继传递的多措并举,推动隐蔽通信技术不断迭代升级,赢得更广阔的应用空间。

## 数字时代的“静默革命”

随着世界主要军事强国加速推进隐蔽通信体系建设,现代战场的信息传输方式正经历深刻变革。隐蔽通信技术逐渐演进为贯穿感知、传输、组网与管控的全域系统工程。这一变革不仅深刻影响着作战理念的变化、装备的升级与作战样式的演进,也为高敏感民用领域筑牢信息安全根基提供了支撑。

牵引无形战力升级。2015年,“低至零功率”作战新概念被提出,其核心方向之一便是借助低截获概率通信方式减少被敌方探测的风险,凸显了隐蔽通信在现代战场的重要性。如今,该作战理念已深度渗透全球主流军事作战系统的研

发进程,既赋能新型作战样式,也牵引着电磁空间作战能力不断升级。

守护敏感数据安全。在高度数字化的金融行业,隐蔽通信技术为金融核心数据与指令传输提供了更深层的安全保障。通过将高度敏感的业务信息隐蔽传输,结合加密手段,可有效防止外部的侦察、干扰和破译。这为跨境支付、资产托管等高价值业务提供了更加可靠的无线传输通道。

保障核心技术数据。在全球化的高端研发中,隐蔽通信技术为跨地域团队提供了安全可靠的通信方式。通过精心设计的隐蔽信道传输关键的设计图纸片段或实验数据,可确保关键信息在传递中不泄密。

守护执法行动安全。在针对高度警觉的犯罪组织的调查执法中,可利用预设的隐蔽通信方法传递指令与情报,防止“打草惊蛇”,从而保障行动顺利与执法人员安全。

构筑可信通信链路。在数据监控无所不在的数字生活中,隐蔽通信技术可以为用户提供关键性保护。通过将真实通信内容与意图隐藏在常规流量与行为模式之中,结合端到端加密,可有效防止第三方对通信关系、频率及内容的关联性分析,为私密对话、敏感议题讨论等高隐私需求场景提供可信的通信链路。

纵观隐蔽通信技术的发展历程,我们看到了由需求驱动的创新之路。需求永在,创新不止,这条“没有最隐蔽、只有更隐蔽”的隐蔽通信之路,将永不停歇地向前延伸。

# 在中国空间站,航天员怎么大扫除

■郝明鑫 卢瑞华



首先是垃圾收集。航天员主要依靠残渣收集器,捕获悬浮的食物残渣等固体颗粒。我们平时用抹布蘸水擦拭桌椅、

窗户等操作,在太空是行不通的。一方面,失重环境下,水无法自然流淌汇聚,不能达到地面擦拭效果;另一方面,从地球

运送物资的空间有限、成本高昂,需满足生活、科研等多方面需求,水是极其珍贵的资源,无法像地面那样随意使用。

其次是垃圾收纳。为节省空间,增加容量,航天员常常使用垃圾压缩机。这样可以有效抑制细菌滋生,维护“太空之家”的整洁,前提是必须进行严格的垃圾分类。厨余、排泄物等属于高危害等级的垃圾,处理时需添加防腐剂。纸中、塑料包装袋等普通垃圾则可直接装入垃圾袋。液体类垃圾基本可以循环再利用:汗液和呼出湿气可净化成再生水,尿液也能处理为纯净水。

最后是垃圾处理。这一步骤主要针对压缩后的固体垃圾。货运飞船在完成物资运输任务后,会将空间站产生的废弃物带回大气层烧毁。因此有人说货运飞船去的时候是“快递小哥”,回来时是“环卫工人”。

未来,随着技术进步,微生物降解、激光气化等更先进处理方法有望得到应用,进一步提升太空废物处理效率与可持续性。这样,航天员在空间站大扫除将更为便捷高效。

左上图:神舟二十号飞船返回前,神舟二十一号乘组打包下行物资及废弃物。

图片来自中国载人航天工程办公室

## 开栏的话

由中央军委科学技术委员会主办的“科普军营”应用程序,是一款紧跟军队科普需要和军用移动端发展的军事科普一站式传播平台。该平台集中发布全军科普活动信息公告,持续提供用户关注的

话题。平台上线6年,广受部队官兵好评。

即日起,本版与“科普军营”应用程序合作推出“科普军营”栏目,为您提供更权威、更丰富的军事科普资讯。敬请关注。

## ★ 科普军营

在电子显微镜普及之前,人类的仿生学还停留在“宏观”的程度。生物的细胞和细胞之间、分子和分子之间到底有什么奥秘,唯有进入微观世界才能最终得以解析。

颠覆传统认知的仿生学革命,正是从这微观天地中悄然萌芽。自此,人类开始尝试着分析、探究乃至学习生物的精妙构造,哪怕是细菌和病毒。

时至今日,“蛛丝强过钢丝”早已是陈年旧闻。但难免有人心生疑窦:蛛丝的神话已相传多年,其实际应用究竟如何,到底在哪些领域发挥功用?

事实上,蛛丝作为一种高级别的复合材料,其组分材料的配比可谓精妙。然而,由于其结构的复杂性,目前我们还无法实现大规模量产。

除了蛛丝之外,还有许多不起眼的生物材料,它们同样令人惊叹。它们能将看似普通的成分,通过特殊的配比和结构组合在一起,从而实现颠覆性的功效。其应用潜力十分巨大,有的像蛛丝一样尚处于研究阶段,有的则已经通过仿生制造应用于实际生产。

例如,寻常的贝壳是碳酸钙与柔韧的生物高分子结构的巧妙结合。这使得贝壳同时拥有极薄厚度、极轻重量和极高强度。应用了这一原理的复合材料已经进入航空航天领域,成为尖端战机和火箭飞船的“新宠”。

此外,甲虫的鞘翅、蜂窝的蜜蜂板等结构,也拥有类似的特征和表现。从快速展开的战争工事、防御阵地,到滚滚前行的军车轮胎,这些仿生技术都有着广阔的应用前景。

战损修复,是几乎所有装备都绕不开的难题。科学家希望将生物的“自修复”能力赋予装备。

比如,人体自身具备神奇的“自修复”能力:划伤的皮肤往往能在几天之内结痂并长出新皮。想要模仿细胞自行“堵漏”修复皮肤的过程恐怕有些困难。但触发细胞“自修复”的过程,给了人类启示:通过在高分子材料中预埋设包裹起来的聚合剂,高分子断裂时会被这些聚合剂重新聚合,从而达到“自修复”的效果。

除此之外,荷叶的“出淤泥而不染”,催生了自清洁、超光滑的表面;猪笼草的“捕虫滑梯”,启发了自适应、自修复、自润滑的涂层与润滑剂;变色龙的“幻影外衣”,衍生出可随环境变色的电子皮肤;细胞的精微结构,孕育了纳米发电机……总的来说,在未来战场上,我们极可能目睹

# 发生在微观世界的仿生学变革

■赵清建

这些仿生科技催生的新概念武器崭露头角。

(本刊军事科技顾问:赵云伟)

下图:同时兼顾蜂窝仿生结构和自修复原理的新型轮胎。

资料图片



## 纳米摩擦发电机——

# 水流过,电就来

■黄家文 宣传扬

近期,欧洲科研团队在可持续能源采集领域取得一项新进展,成功研发出一种仅依赖硅和水的纳米发电机。这种纳米发电机能高效地将水流机械能转化为电能,为微型电子设备的自供电提供创新且环保的解决方案。

这项技术的灵感来自日常生活。人们冬天脱毛衣时,常常会产生噼啪作响的静电,这就是摩擦起电效应。科学家巧妙地将这种固体间的摩擦,转移到了液体与固体之间。他们创造了一种独特的硅材料,它像海绵一样布满纳米级的孔隙,同时又能导电,并且“排斥”水。当水在外部压力下被迫进入这些极细微的孔道时,会与硅壁发生摩擦,从而分离出正负电荷。当水退出时,过程逆转,电荷随之流动。通过精妙的设计,这些微弱的电荷被有效收集起来,形成可用的电流。

这项技术的优势,首先在于其高效率。研发团队称,其能量转换效率达到了9%,这在摩擦发电领域是一个里程碑式的数字。它意味着,推动水流的那份机械能,有相当一部分没有被浪费,而是真切地变成了电。其次,它的材料极其简单:硅和水。硅广泛应用于电子工业,水更是无处不在。这赋予了该技术强大的生命力和应用潜力,它不依赖

稀有材料或复杂工艺,天生就具有“可持续”的基因。

这项技术还为我们打开了一扇新的大门:从环境的“背景噪声”中获取能量。我们周围的世界其实从未静止,汽车的每一次颠簸、管道内水流的每一丝脉动,甚至织物随人体流动的细微摩擦,都蕴含着未被利用的微小能量。过去,这些能量太小、太散,收集它们似乎得不偿失。如今,这种纳米发电机就像一位专注的“收集者”,能够将这些散布各处的、微弱的能量“碎屑”仔细拾起,汇聚成点亮传感器或芯片的“星星之火”。

我们可以想象未来的图景:在汽车的减震器里,嵌入这样的发电模块;行驶中的每一次震动都将化为电力;在可穿戴设备领域,将这种微型发电机嵌入衣物,人体日常的运动便能供电给心率与体温监测,实现真正的无感自供电;在庞大的城市供水管网中,安装上这样的装置,水流本身就能为泄漏和压力传感器提供能源,让基础设施的守护变得智慧而低成本。

## ★ 新看点

## ★ 我们的太空·新知课堂

在地球上,人们会定期对房子进行大扫除,以维持房子的整洁。在距离地球表面约400公里的太空,航天员也需要打扫空间站的卫生。尽管中国空间站配备有高效的环境控制与生命保障系统,但必要的清洁维护对保障空间站安全至关重要。例如,各类残渣碎屑一旦随航天器吸入体内,可能会危害健康;若碎屑嵌入精密设备缝隙,还会威胁设备的正常运行。

航天员在“太空之家”生活,必然会产生产垃圾。在天上大扫除和地面截然不同。太空独特的失重环境会让常规打扫方式变得格外困难。那么,在中国空间站,航天员怎么大扫除?