

军工T型台

2025年10月,据外媒报道,法国新一代“罗纳克海军上将”号护卫舰将采用低可探测性雷达吸波涂料...

无独有偶。有报道显示,印度有关公司和科研机构,研发出该国首款“双隐身无人机”。

在现代战争中,武器装备的“可探测性”已成为决定

战争胜负的决定性因素。统计显示,空战中80%~90%的飞机损失,源于被敌方探测系统发现。

面对越来越透明的战场,越来越精确的打击,如今的军事隐身涂料已从简单的视觉遮蔽材料演进为多频谱协同的尖端材料系统,成为军事竞争的关键一环。

军事隐身涂料——

武器装备“瞒天过海”有门道

■戚韵婷 李珊珊 陈浩天



视觉遮蔽——

初步探索,功能单一

军事隐身涂料的发展起点,源于战场对“视觉隐藏”的原始需求。在探测技术相对简陋的二战时期,战场侦察主要依靠目视观察,此时的隐身涂料本质上是“色彩伪装工具”。

这一阶段的隐身涂料技术相对粗糙,主要以普通油漆为基底,添加天然色素与惰性填料制成,不具备对抗雷达、红外等新型探测信号的能力。

二战后期,随着雷达技术逐渐成熟并投入战场,金属材质的武器装备使用时产生强烈的雷达波反射,简单的色彩伪装已难以满足战场生存需求。

不过,早期雷达吸波涂料存在明显短板:为保证吸波效果,涂层厚度需达到毫米级,这导致装备重量大幅增加。

通过持续优化材料成分比例和制备工艺,早期隐身涂料的性能逐步提升,但“重、厚、脆”的核心问题始终未能彻底解决。

域持续优化,为后续多频谱协同隐身技术提供了重要的技术积累与应用基础。

多频谱协同—— 技术飞跃,复合隐身

20世纪70年代后,随着雷达技术向宽频段、高精度方向快速发展,以及红外制导、激光探测等新型侦察手段的陆续涌现,单一功能的隐身涂料已无法应对多维立体的探测威胁。

雷达隐身技术的成熟是这一阶段的核心标志。科研人员突破了单一材料局限,研发出磁损耗性与电损耗性两大吸波体系。

同时,红外隐身技术的发展,让多频谱协同隐身成为可能。该技术的核心机理是通过调控发射率与相变缓冲实现温控隐身。

材料技术的革新,让隐身涂料彻底摆脱了“重、厚、脆”的传统困境。纳米技术大幅提升涂层吸波性与稳定性,使涂层薄型化、轻量化。

实战化适配性的持续提升,让隐身涂料真正从实验室走向战场。早期应用如F-117A战机,虽集成了多频谱隐身功能,但涂层极其脆弱,维护耗时且易受环境侵蚀。

此后,技术发展聚焦于提升材料耐用性与可维护性;B-2轰炸机通过优化吸波材料性能,改进了涂层维护环境;

F-22战机的纳米复合涂层在宽温域内性能稳定、重量更轻,大幅降低了维护成本。

地面与海上装备的隐身涂料也实现了突破性发展。俄罗斯“白杨-M”洲际导弹的再入舱体采用耐高温隐身材料,可承受高速飞行带来的极端高温。

多频谱兼容—— 智胜未来,全域隐身

随着战争形态加速向信息化、智能化演进,电子战、网络战成为重要作战样式,交战双方“发现即摧毁”的能力大幅提升,快速部署、高速机动、灵活反应成为现代战争的制胜关键。

多频谱兼容是未来隐身涂料的核心发展需求。

现代战场已形成从可见光到毫米波的全频段探测网络,仅仅实现单一频段隐身如同“掩耳盗铃”,无法应对复杂的侦察环境。

智能化与自适应技术将彻底改变隐身涂料的工作模式。传统涂层的性能参数相对固定,无法应对战场环境的动态变化。

性转变。当智能涂层出现裂纹或磨损时,内置装置会自动释放修复剂,在紫外线或温度变化等外界环境触发下完成修补,保证涂层吸波性能,大幅降低维护成本。

更先进的自适应涂层能够实时调整性能参数——通过传感器探测到敌方雷达频率变化后,涂层可快速改变自身参数,使吸波峰值始终匹配入射波频率,确保在不同探测环境下都能保持最佳隐身效果。

极端环境适应性成为技术竞争的新焦点。

高超声速武器的表面温度极高,传统涂层在高温环境下易分解失效,无法满足防护需求;极地作战、深海部署等特殊场景,要求涂层耐受极寒与高盐雾腐蚀等极端环境。

陶瓷基复合涂层成为解决这一难题的关键;碳化硅、氮化硼等陶瓷复合材料可在高温环境下保持结构稳定,为高超声速武器隐身提供了可靠的解决方案。

在这场没有硝烟的材料革命中,谁能抢占技术制高点,谁就能在未来战场“瞒天过海”进而占据先机,这正是军事隐身涂料的战略价值所在。

上图:法国新一代“罗纳克海军上将”号护卫舰。 供图:阳 明

军工档案

如今,随着各国海洋活动日益频繁,潜艇在执行任务时面临的风险也在增加。一旦潜艇在深海中陷入危险境地,高效可靠的救生设备就至关重要。

提起深潜救生艇,就不得不提到有着“水下救援先锋”之称的LR7深潜救生艇。LR7深潜救生艇能够在300米的水下深度潜航超过12小时,每次救援行动,该救生艇最多能搭载18名遇险者,超高的救援效率,为众多身处险境的生命带来了生的希望。

LR系列深潜救生艇的产生可追溯到20世纪70年代。1978年,英国佩里·斯林斯比系统公司制造出LR5深潜救生艇,并在此基础上制造完成LR7深潜救生艇。

LR7深潜救生艇的特有推进系统是其一大亮点。该推进系统由艇艏侧推进器、中部垂直推进器、尾部主推进器共6个螺旋桨协同组成。这些螺旋桨犹如救生艇的“灵动羽翼”,不仅具备强大的推进力,而且反应极为灵敏。

近年来,LR系列深潜救生艇成为世界各国海军水下救援的重要装备。法国引进该系列救生艇后,参与了“北约国家救援救生艇系统”项目,并进行了多次模拟救援演练,充分提高了潜艇艇员在紧急情况下的生存几率和救援效率;韩国海军在该系列救生艇的基础上,发展了自己的潜艇救援系统;越南、挪威等国家也装备了该系列救生艇,用于保障其潜艇部队的安全。

该救生艇还配备了先进的声定位

幽海救援「探路者」

LR7深潜救生艇

■宋润鹏

位仪和图像声呐,声定位仪如同敏锐的“听觉器官”,图像声呐则像一台高清摄像机,将水下的景象清晰呈现。二者相辅相成,可精确定位失事潜艇位置,提高救援的准确性和效率,为救援行动节省宝贵的时间。

在2011年的一次演习中,LR系列深潜救生艇参与多国联合救援演练,展示了其在复杂海况下的救援能力,包括与不同国家潜艇的对接能力及深海环境的操作性能。

下图:LR7深潜救生艇。 资料图片



非爆炸式反应装甲——

装甲不再“以爆制暴”

■黄辛舟 洪文鹏

军工科普

作为现代战争中的防御利器,坦克的反应装甲能够在遭遇反坦克武器攻击时,迅速作出反应,从而有效减轻或避免对坦克主装甲的损害。

目前世界各国采用的反应装甲通常为“爆炸反应装甲”。“爆炸反应装甲”的工作原理是在坦克中弹的瞬间,引爆钝感炸药,使装甲前后加装的钢板以极高的速度向相反方向推出,从而干扰破甲弹的射流,或者使长杆穿甲弹的弹体断裂,达到保护主装甲的目的。

这种“以爆制暴”的设计堪称神来之笔,但这本身也是一把双刃剑。爆炸产生的冲击波可能损伤坦克自身的观瞄设备,甚至对伴随步兵构成威胁,而一次引爆后的装甲板即告失效,无法应对连续攻击。

随着技术的进步,一种更为精巧、安静且足够有效的装甲防御技术正在崭露头角:非爆炸式反应装甲。它摒弃了传统爆炸的轰鸣与烟雾,以静默而迅猛的物理法则,重新演绎着一场无声的防御故事。非爆炸式反应装甲的核心设计理念是利用高速物理运动来达到防御,却不依赖于化学爆炸。

电磁装甲是非爆炸式反应装甲的一个典型代表。电磁装甲通常由两层导电板夹着一层绝缘材料构成,并与一个超级电容器组相连。当破甲弹的金属射流穿透外层钢板,进入绝缘层时,它会瞬间形成闭合回路。此时,预先储存在电容器中的巨大电能会在纳秒级时间内被释放,产生数百万安培的瞬间电流。这股电流流经金属射流,形成的强大磁场可对射流产生剧烈扰动,将其撕裂甚至汽化,从而丧失穿透能力。

例如,英国曾展示了装有电磁装甲的“武士”步兵战车试验车,该车配备的电磁装甲由防弹金属板、绝缘板、电力分配线等构成。当反坦克火箭命中电磁装甲时,电路导通形成超电流和电磁场,能将火箭弹的金属射流分散,保护主装甲不受损。

非爆炸式反应装甲的优势显而易见。它消除了对己方设备的附带损伤和人员风险,反应后装甲模块往往可以保持结构完整,甚至具备一定程度的多次防御能力。

更重要的是,它打开了一扇通往更轻、更智能、更自适应装甲系统的大门。未来,结合先进的传感器网络,这种装甲或在探测到威胁类型和来袭方向的瞬间,精确地调动特定区域的防御模块进行响应。

不过,非爆炸式反应装甲也面临一些挑战。比如,电磁装甲需要强大的储能与瞬间放电系统,其重量、体积和能量管理是摆在科研人员面前的难题。

从非爆炸式反应装甲的工作原理中,我们能够感受到,装甲防御技术不仅是简单、笨重地承受炮弹力量,更是敏捷、精确且充满巧思的物理博弈。当下一次看到坦克战车矫健的身影时,或许可以想象,其沉默的甲冑之下,正涌动着基于深奥物理法则的、无声的守护风暴。



配备了非爆炸式反应装甲的法国勒克莱尔坦克。 供图:阳 明