

坦克主动防护系统管窥

■王奕阳 周家伟 郭润霖

据外媒报道,近日,美国陆军在阿伯丁试验场接收首批M1E3“艾布拉姆斯”主战坦克,其炮塔顶部新增的六边形雷达阵列与拦截弹发射器成为显著标志。同期,德国联邦国防军已成功完成“豹”2A8主战坦克在立陶宛的实战部署测试,更先进的“豹”2ARC 3.0原型车正在科特布斯基地进行反无人机

和反坦克一体化拦截技术验证。

在这场坦克升级浪潮中,被称为“坦克金钟罩”的主动防护系统(APS)成为主角。坦克主动防护系统是一种智能化防御系统,通过探测、识别和主动拦截来袭威胁(如反坦克导弹、火箭弹等),为坦克提供全面防护。

从被动挨打到主动防御

在很长一段时间里,坦克主要依靠复合装甲和爆炸反应装甲等被动装甲系统抵御攻击,其核心防护理念是依靠装甲的物理防护性能。随着战场环境的变化和反坦克武器威力的不断增强,传统被动防御手段的局限性日益凸显。

由于坦克防护性能与机动性能之间存在固有矛盾,单纯依靠装甲增厚的防护方式已无法满足现代战场需求。为此,科研人员转变思路,将研究重点转向主动防护系统。最早的技术实践可追溯到苏联的“鹁”式主动防护系统。

20世纪70年代,苏联成功研制出“鹁”式主动防护系统,并于80年代初将其装备于部分T-55AD和T-62主战坦克。该系统首次采用毫米波雷达探测与拦截弹引爆方式,实现对来袭威胁的近距离防护,证明了“主动拦截”概念的可行性。进入21世纪,以色列拉斐尔先进防务系统公司研发的“战利品”主动防护系统已达到较高成熟度,能在实战中有效抵御反坦克导弹与火箭弹的多轮攻击。

与被动装甲系统相比,主动防护系统重量通常低于2吨,约为等效复合装甲重量的1/10,可兼顾轻量化与防护效能。值得一提的是,主动防护系统与被动装甲系统并非替代关系,而是相辅相成的互补关系,两者共同构成现代坦克的防护体系。被动装甲系统通过物理结构和材料特性提供基础防护,主动防护系统则通过实时感知威胁并采取主动拦截措施,进一步增强防护效能。这种协同防御模式不仅能有效应对传统反坦克武器的威胁,还能对抗新型攻顶导弹和高精度制导武器的攻击,大幅提升坦克在战场上的生存能力。

软硬兼施“双保险”

坦克的主动防护系统主要通过软杀伤和硬杀伤两类技术路径实现,形成相辅相成的“软硬双保险”机制。软杀伤技术主要通过电子干扰和欺

骗手段使来袭弹药偏离目标,展现出“四两拨千斤”的防御智慧。

俄罗斯电子集团研发的“窗帘”-1主动防护系统是光电对抗的典型代表。当系统探测到激光瞄准信号后,能在1.5秒内发射烟雾弹形成红外屏障,并释放调制红外脉冲干扰导弹导引头,对激光制导武器进行干扰,成功率达80%。美国Artis LLC公司研发的“铁幕”主动防护系统采用电磁压制技术,通过C波段雷达精确定位目标后,发射电磁脉冲使无人机和导弹电子元件失效,对低速巡飞弹的拦截率达75%。曾在“斯特赖克”装甲车上测试,该系统具有成本低、无碎片附带损伤等优势,但因其对制导武器有效,无法拦截非制导火箭弹及动能穿甲弹,未成为美军主流列装选择。

硬杀伤技术则是通过直接拦截和摧毁来袭弹药保护坦克。系统通过毫米波或相控阵雷达扫描威胁,火控计算机在极短时间内完成弹道解算,快速筛选真实威胁并分配拦截弹实施精准拦截。

例如,以色列埃利比特系统公司研发的“铁拳”主动防护系统可发射特殊易燃材料拦截弹,通过爆炸产生的冲击波使穿甲弹偏转,且不产生破片,以降低对伴随步兵的误伤风险。俄罗斯仪器制造局设计的“竞技场”主动防护系统则采用破片杀伤方式,在坦克周围1.3至3.9米处引爆破片弹,形成密集金属弹幕拦截目标,但对高速穿甲弹的拦截效果有限。

技术博弈发展与挑战

近年来,战场新型威胁层出不穷,巡飞弹、FPV自杀式无人机等低成本武器采用“蜂群战术”专攻坦克薄弱部位,这些目标不仅成本低廉,且难以被传统雷达捕捉。为此,多国主动防护系统的研发重点纷纷转向应对顶部攻击和无人机威胁。

例如,俄罗斯为T-90M主战坦克加装升级的“竞技场”-M主动防护系统,宣称已具备拦截自杀式无人机能力。德国的“豹”2A7A1主战坦克和美国的部

M1A2“艾布拉姆斯”主战坦克加装“战利品”主动防护系统……这反映出多国对主战坦克在近程防空能力方面的短板日益重视,并在现有装甲平台上探索整合多种防护手段。

当前,坦克的主动防护系统发展呈现高度集成化、智能化和模块化趋势。新一代系统注重将多种传感器(如脉冲多普勒雷达、光电传感器、激光告警装置)与拦截手段深度融合,通过数据融合和高速处理技术,实现对各类来袭威胁的快速探测、分类、识别和定位,并自动采取最优拦截措施。德国莱茵金属公司设计的“打击盾”主动防护系统采用分布式、模块化设计,将雷达、光电传感器和拦截弹嵌入装甲内部,实现主动防护与被动装甲的结合,既优化防护效能,又降低系统被发现的概率。

然而,主动防护系统在快速发展过程中仍面临诸多挑战。首先,系统在应对高动能弹药时的可靠性堪忧。比如以色列的“战利品”和德国“打击盾”等成熟主动防护系统,尽管它们能有效拦截反坦克导弹等聚能装药威胁,但对于尾翼稳定脱壳穿甲弹等超高速目标的拦截仍存在技术瓶颈。

其次,系统依赖的雷达和光电传感器在实战环境中面临信号易被截获的问题。敌方电子侦察设备可通过捕获主动防护系统的电磁信号,影响其探测距离和反应速度。为此,部分系统不得不采用低截获概率技术或无源传感器,导致系统效能受限。同时,在目标识别方面,现有算法在复杂战场环境下误判率较高,尤其在面对低成本无人机蜂群攻击时,系统可能难以区分真实威胁与虚假信号导致拦截失效。

再次,平台适配性与成本效益问题不容忽视。一方面,主动防护系统需要占用车辆重量、空间和电力资源,可能对车辆机动性和结构平衡产生影响;另一方面,其高昂的单套成本使得大规模列装(尤其是对轻型车辆或老旧平台而言)性价比比较低。

最后,系统与车辆其他系统(如战斗管理系统、电子战设备)的深度集成缺



加装“战利品”主动防护系统的美国M1A2C“艾布拉姆斯”主战坦克。



加装“竞技场”-M主动防护系统的俄罗斯T-90M主战坦克。



加装“战利品”主动防护系统的德国“豹”2A7A1主战坦克。

乏统一标准,导致技术复杂性增加,互操作难度加大。这些问题共同限制了主动防护系统的实战化普及与效能最大化。针对现有技术瓶颈,未来主动防护

系统将着重提升对高动能弹药的拦截能力,通过改进传感器精度、优化拦截算法和开发更高效的拦截弹药,进一步增强防护效能。

瑞典新型野战医疗系统亮相

■沐宸 李林涛

近日,在捷克布尔诺举行的2025年防务与安全技术展览会上,瑞典萨博公司展示了其研发的“可部署医疗救治系统”(DHC),吸引了不少参展者的目光。

针对现代战争多线作战和分散部署的战场需求,“可部署医疗救治系统”采用模块化设计,涵盖从一级救治到三级救治的完整医疗功能。公司研发人员表示,高度模块化的设计使该系统既能独立运行,又可互联互通,必要时能快速组合,形成一个功能齐全野战医院。

为满足北约“10-1-2”黄金救治时间标准(10分钟内完成止血,1小时内完成院前急救,2小时内完成手术),该医疗救治系统配备3套“前方复苏功能模块化背包”,每套重量不超过30千克,内置便携式帐篷、基础医疗设备和急救药品等物资,可实现快速部署,确保医疗人员在短时间内完成对伤员的初步救治。同时,系统配备较完善的二级、三级救治医疗设施,配套建立战略后送体系,确保伤员获得及时、连续的救治。

现代战争的实践表明,野战医院不仅需要具备高效救治能力,还需提升生存能力,以适应复杂多变的战场救治环境。基于以往的战场经验,研发人员对系统所有设备进行了低可探测性设计和抗打击能力优化,尽量保证医患人员和医疗设备安全。该系统还具备“行走血库”功能,可实现现场血液采集储存,在无法及时后送伤员的情况下为其提供血液保障。

此外,该系统还有一些比较实用的设计。比如整套系统采用柴油发电机作为主电源,所有医疗设备均具备充电功能,确保能在安静环境下进行手术操作;配备电动与手动双模式净水设备,确保在无电力条件下仍能为外科手术提供洁净水源;各功能模块帐篷配备加热与制冷装置,可建立超压环境,应对极端冷热和沙尘天气条件等。

总体来看,该医疗系统在一定程度上体现了野战医疗向集成化和标准化发展的趋势。目前,该系统已在澳大利亚、瑞典、挪威和拉脱维亚等国军队中得到应用。



医务人员快速组装“可部署医疗救治系统”。



“可部署医疗救治系统”中的手术设施。

多天线协同跟踪:太空监视核心技术

■曲卫

据外媒报道,美国太空军主导的“深空先进雷达能力”(DARC)项目近日取得一定进展。位于澳大利亚的雷达站点(由美国、澳大利亚和英国联合共建的3座雷达中的首座)启用7部天线,借助多天线协同跟踪技术,实现对多颗地球同步轨道在轨卫星的实时跟踪。分析人士指出,“深空先进雷达能力”项目实质是打造以多天线协同跟踪技术为核心的太空监视能力。该项目全面部署后,美军将具备24小时不间断全球太空监视能力,引发多国关注。

传统雷达系统通常依赖单一大型天线进行探测,若追求更远探测距离,则难以分辨目标细节;若需要更高分辨率,则无法实现远距离观测。多天线协同跟踪技术通过分布式雷达架构改变了这一局面。该技术采用多部天线协同工作,共同构成一个功能远超单一天线的“虚拟超级雷达”,大幅提升监测性能。

由于地球同步轨道目标距离地球约3.6万公里,雷达信号经远距离传输已极度微弱。为采集更多清晰信号,多天线协同跟踪技术采用大口径天线阵列。以澳大利亚雷达站点为例,其在直径约1千米的圆形场地均匀设置多部直径为15米的抛物面天线。这些天线并非独立运作,而是通过相位相干处理技术,使各天线接收的信号在时间与相位上高度同步,再经专用算法融合处理增强有效信号、抑制噪声,提取出较清晰



大口径天线阵列。

的目标信号。这一过程相当于构建出一个孔径远超单个天线的超级天线,既降低对单一天线尺寸的限制,又可通过增加天线数量提升系统性能。此外,由于采用数字波束形成技术,每个天线可生成多个独立波束,每个波束锁定一个特定目标,实现一对多跟踪。

研发人员表示,多天线协同跟踪技术的重心在于分工协作。在探测过程中,部分天线专司发射雷达信号,其余负责接收回波。面对多目标跟踪任务时,系统能智能分配不同天线组分别执

行监视与跟踪,再通过数据融合形成统一全面的太空态势图像。这种机制使系统可同时锁定多达数百个目标,其波束切换速度达毫秒级,兼顾广域监测与精准跟踪。

不过,将多天线协同技术从理论转化为实际,需要解决一系列工程难题。首先是硬件部署的精度要求较高。每个天线的安装精度须控制在毫米级别,任何微小偏差都可能导致信号相位失准。以澳大利亚站点为例,施工过程中需借助激光校准技术,确

保10多部抛物面天线全部精确对准同一基准方向。

其次是复杂的数据融合机制。多天线收集到的大量数据,需经过有效整合,才能形成统一的太空态势图。DARC项目采用“三级融合”模式,具体流程如下:在数据层,汇总各天线收集的原始回波数据,通过自适应滤波技术消除大气扰动与设备噪声等干扰;在特征层,提取监测目标的速度、轨道倾角、尺寸等关键特征,通过算法校准不同天线观测结果;在决策层,结

合历史数据和实时信息研判目标运动趋势,最终输出跟踪结果及预警信息。这一融合机制中任何一环出现偏差——如数据不同步、特征提取错误或决策算法失效——均会影响整个系统的输出准确性与可靠性。

最后,实现全球多站点的精确协同面临挑战。DARC项目计划通过分布于澳大利亚、英国和美国的3个站点组成天线群,构建互补的覆盖网络。然而,要实现跨大洲站点间的高效协同,须解决高精度同步与数据融合问题。比如,信号收发过程中的时间误差、物理距离导致的数据延迟,以及不同站点间的数据格式差异,都可能影响协同观测的准确性和实时性。

此外,DARC项目还深陷延期困境。美国政府问责署最新报告显示,3个站点建设进度分别滞后13至26个月不等,且首座站点成本已超支约2亿美元,严重挤占后续站点的建设预算。同时,美国太空军在2026财年基础预算申请中未列入DARC项目资金,被迫转向申请从国会1500亿美元和解法案中划拨2.81亿美元作为应急款项。

更值得警惕的是,即便项目延期超支,美国仍坚持推进此类高度军事化的太空监视系统,这种以维护太空安全为名,实则推行太空军事化的行径,无疑将加剧全球太空领域的战略猜疑与对抗,进一步加剧太空军事竞赛升级,威胁全球战略稳定。