

聚焦外军新域新质



某种程度上,一部人类战争史,就是一个攻者利其器、守者坚其盾的螺旋发展过程。

近年来,在俄乌冲突、新一轮巴以冲突以及美以伊冲突中,侦察、通信、指控手段的更新,精确制导武器、高超声速武器、无人机蜂群等新型作战手段的大量运用,极大地改变了战争的面貌,也使传统的工程防护面临严峻冲击。未来的战场工程防护,既需巩固其传统效能,更须聚焦应对钻地武器、智能侦察、精确猎杀等挑战,在分布式部署、隐身伪装、快速重构与智能化防御等方向寻求突破。

“尖矛”带来严峻挑战

卫星侦察监视的技术发展、无人机和精确制导武器的广泛应用,使战场工程防护领域面临着“矛”与“盾”之间力量对比严重失衡的战略困境。

地下防护工程不再是“铁壁铜墙”。将重要军事工程深埋于山体岩层中,是工程防护的重要策略。然而,近期一些实战案例表明,这一做法在侵彻升级与隐蔽失效的双重夹击下,已不能保证绝对安全。一方面,钻地武器命中精度和破坏力的提升,正在快速逼近传统工程防护的安全埋深极限。美军GBU-57巨型钻地弹采用智能引信技术,多枚串联投放后可逐层破坏并深入地下目标。另一方面,侦察监视技术的快速发展,也让许多地下工程“无处藏身”。现代战场侦察已形成“天基卫星+空基无人机+地面传感器”的全维覆盖。一个异常的热源、一条新修的施工便道、一处植被枯死的山坡,都可能暴露深埋工程的口部位置。以色列在加沙的军事行动中,借助多种侦察手段交叉验证,精确定位哈马斯地下隧道网络的入口和节点,进而实施注水、炸毁等多种打击手段。

民用基础设施绝非“安全港湾”。电网、通信枢纽、交通节点等关键基础设

施,既是现代社会运行的命脉,也很容易成为敌方战时打击的重点。当前,各国民用基础设施系统在设计时通常以平时的运行安全为主要目标,对战时蓄意打击的防护考量严重不足。数据显示,仅今年2月28日至3月25日期间,美以和伊朗之间就发生了近200次针对关键基础设施的攻击,其中60%以上以油气、电力、交通、数据中心等民用基础设施为目标,攻击手段涵盖导弹、无人机、网络病毒等。俄乌冲突中,双方针对石油、电力等民用基础设施的攻击更是频繁上演。这种打击直接军事效果或许有限,却会对社会运转和民心稳定造成严重冲击。

野战阵地工事难以适应“透明战场”。野战工事构筑过程本身极易留下工程痕迹,而现代侦察手段恰恰擅长捕捉这些痕迹。无人机搭载的热成像仪能发现掩体内部的体温信号;合成孔径雷达可穿透植被探测掩体轮廓。更重要的是,现代战场上,发现目标—组织火力—实施打击的时间被极大压缩,防御方几乎没有时间窗口对野战工事进行隐蔽或加固。一旦被锁定,野战工事几乎无法逃脱精确打击。在纳卡冲突中,亚美尼亚的掩体在阿塞拜疆的无人机面前作用丧失殆尽;俄乌战场上,FPV无人机携带破甲弹钻入掩体射击孔的案例也屡见不鲜。

铸就“坚盾”巩固根基

攻防矛盾历来相生相克,相互转化。面对侦察和打击手段的升级,各国也在积极创新防护模式与方法手段,力图破解工程防护面临的现实困境。

通过分布式部署提高工程整体生存概率。俄乌冲突中,乌军在顿巴斯地区构建了由大量小型、分散的混凝土碉堡和地下弹药存储点组成的防御网络,每个点间距数百米至数公里,即使部分被摧毁,整体防线仍能维持作战能力。2024年,以色列军方在加沙地带外

战场工程防护在挑战中嬗变

卢浩刘一鸣

围部署了多个分布式机动掩体群,采用集装箱式模块化结构,可根据威胁快速迁移和重新部署,有效降低了哈马斯火箭弹和无人机的集中杀伤效果。此外,美军也在“分布式作战”概念推动下,在位于关岛、天宁岛等地的军事基地建设,将燃油、弹药等关键物资分散存储于数十个加固地下洞库中,以提高打击



后的完好留存率。

通过多频谱隐身伪装真假提高打击成本,降低发现概率。现代侦察体系的全维多谱特性,迫使伪装从单一视觉欺骗向多频谱隐身升级。俄乌冲突中,双方在绵延近2000公里的战线上部署大量假目标,俄军仅在第聂伯河左岸防线就设置了超过300个充气坦克和木质火炮阵地,诱使乌军消耗大量昂贵的精确制导弹药攻击虚假目标。伊朗在地下导弹城建设过程中,采用热沉和通风稀释双重技术,将发电机等热源设备深埋于花岗岩隧道内,通过长达数百米的分支通风管网使排出气体温度趋近地表背景温度,使星载红外传感器难以捕捉异常热信号。

通过快速修复与模块化预制提升防护重构能力。2024年4月,以色列对伊朗伊斯兰罕地区空军基地实施打击,卫星图像显示基地内一处防空设施有明显弹坑,但周边跑道与机库在数日内即完成修复并重新投入使用。同年10月,以色列对伊朗帕尔钦军事基地及周边地下设施发动多轮空袭,据西方情报机构评估,部分洞库入口遭精确打击损毁,但伊朗依托预制构件与快速施工能力,在袭击后一周内即恢复了主要通道通行与基本功能运转。

综合防护开辟新路

新的战争形态面前,工程防护不再只是埋多深、盖多厚的问题,而是一道涉及侦察与反侦察、侵彻与抗侵彻、干扰与抗干扰的复杂系统方程。相关国

家正摒弃单纯依靠增加覆盖层厚度的简单思维,转向依靠科技创新的精细化路线,通过军地协同、体系对抗,将物理防护与智能感知、电子对抗、快速修复深度融合,构建“难以发现、难以命中、难以摧毁、快速恢复”的现代工程防护体系。

从单体硬抗转向提升体系韧性。在工程防护领域,韧性被定义为系统吸收、适应并从破坏性事件中快速恢复的能力,这意味着工程设计从确保不被摧毁转变为即使被毁,核心功能也可快速恢复。在技术层面,防护结构与主体结构分离设计、关键构件模块化预制、快速注浆固结技术等,使快速恢复从理念走向实践。比如,预留注浆孔的破碎消波块设计,能在遭受打击后通过注浆使破碎块体重新胶结,从而恢复防护能力。

从被动抗炸转向主动对抗。将土木工程防护与信息化防护相结合,构建“近程预警—电子干扰—硬杀伤拦截”的综合防御链,可有效保护固定目标的口部和通风口等薄弱环节。这一思路的核心在于,使直接命中变为临近爆炸,将设计工况外的超强打击降解为可承受的常规荷载。俄罗斯在乌克兰战场部署的电子战系统,能有效干扰无人机通信链路和GPS信号,诱使大量制导弹药偏离目标。这一思路,对于采用GPS、惯性导航、末制导等多模复合制导的钻地弹也同样适用。干扰、诱偏、致盲等,都是可以采用的防护手段。

从单一功能转向平战一体、军地协同。现代战争中,关键基础设施的防护无法仅靠军队完成。因而,对工程防护提出一个严苛要求:防护体系必须融入日常运行,而不能成为和平时期的闲置资产。平战一体的核心是设备状态监测的传感网络可兼顾日常故障预警与战时毁伤探测;应急抢修的备品备件可兼顾日常维修与战时替换;结构工程的防护设计可兼顾日常防灾与战时抗爆。通过多效融合,规避重复建设,降低全生命周期成本。

(作者单位:陆军工程大学)

瞭望台

图①:加挂炸弹的FPV无人机。

图②:伊朗某地下导弹城内储存的导弹。

图③:俄罗斯炼油厂加装的反无人机防护网。

图④:以色列国防部大楼在伊朗的反击中被炸。

本版图片均为资料图片



资料整理:孙仁中、张家琪
版式设计:胡云艳



地下导弹城在战火中彰显韧性

孙桂娟 李晓军



焦点CT

6月14日,伊朗与美国敲定了关于“结束战争谈判”的谅解备忘录文本。自2月28日开战以来,尽管遭受美国和以色列的多轮高强度空袭,伊朗方面仍展现出较强的防御韧性。其中,伊朗在各地经营多年的地下导弹城发挥了极为重要的作用,成为伊朗保存作战实力、维持持续反击能力的重要基石。

两伊战争中,伊朗制空能力较弱,战略目标频遭打击。战后,伊朗痛定思痛,除了大力发展弹道导弹外,还下定决心开展大规模地下工程建设。历经多年努力,伊朗在全国建设了至少27个重要地下导弹城。这些导弹城并非单一洞库,而是集存储、组装、测试和发射于一体,配备独立供电、通风等生命保障系统,部署的弹道导弹多达数千枚。导弹城的布局遵循地质适配、战略卡位、分散部署的原则,根据战略需求和地理地形条件,大致可分为内陆山地型、沿海海岛型、城市周边型等三种类型。

在工程防护上,伊朗地下导弹城经

过精心设计,采取了多种方式增强防御韧性。天然防护层厚度普遍在200米以上,且通过地下通道实现互联互通,形成网络化布局;出入口融入自然地形,具有较好隐蔽性;隧道断面采用复合防护结构,关键部位设有钢制防护门或防爆墙;多个通风竖井保障空气流通,配备独立能源或微电网,可在外界隔绝条件下自持运行3周以上。

多层防护体系抵御高强打击。亚兹德地下导弹城遭到美以至少6轮大规模高强度空袭,经受包括常规钻地弹、巡航导弹等武器的反复打击,但核心区始终保持完好。据研究资料显示,作为第一层防护的是厚达500米的花岗岩山体这一天然屏障;采用“被覆层+缓冲层”的主体结构形成第二层防护;不同功能区采用“垂直分层+内外分隔”构成第三层防护。此外,其内部隧道通常采用马蹄形或直墙圆拱断面形成超静定结构,能够通过内力重分布应对局部破坏;Z型出入口和多重防护门的设计,也可减小爆炸冲击波的影响,有效保护核心区免遭破坏。

模块分区设计实现高效修复。大不里士地下导弹城在冲突期间也遭到多轮次高强度打击,部分人口坍塌、浅层隧道受损。有报道称,4月8日临时停

火协议达成后,伊朗动用重型机械和常备抢修力量,依托标准化的预制模块、冗余的入口和道路,仅用2天时间就完成清障和通道抢通,恢复了部分发射能力。这主要得益于其空间结构采用的模块化设计,工程内部以防护门隔断形成独立单元,可实现分区作业、即坏即修;功能分区采用垂直分层设计,多出入口位于浅层、部分可“牺牲”,核心节点位于深层保护区。此外,导弹存储和发射也采取分散模式,确保单点受损不会影响其他作战单元。

布局冗余分散保障连续作战。有资料显示,在设计上,各地下导弹城的主通道与发射井之间预留冗余接口,一旦主通道受损,可迅速切换备用路线;发射节点平时分散隐蔽,可根据需要选择未暴露或已完成修复的节点实施发射;更重要的是,各导弹城采取轮换机制,交替轮值、协同作战,形成受损抢修、接续反击的持续作战闭环,确保火力反击不因个别导弹城受损而中断。在“真实承诺—4”90多轮的反击中,伊朗依托亚兹德、大不里士等地下导弹城进行反击,不仅消耗了以色列防空力量,还重创了美以多处重要目标。

(作者单位:军事科学院国防工程研究院)

认知小站

地下空间大有可为

从单一的人防工程,到集地铁、地下车库、地下综合管廊、地下综合体和地下储库于一体的庞大系统,再到构建“深地中核”、编织“地下物流网”、助力实现“双碳”目标,对地下空间的开发利用,不仅是人类活动物理空间的拓展,更是国家生存能力、发展潜力与可持续发展的重要支撑。事实证明:深耕地下,就是守护地上;地下空间,大有可为。

评论区

孙子曰:“善守者,藏于九地之下;善攻者,动于九天之上。”现代战场威胁百端,矛锐可以破敌,盾坚方能御敌,只有强国战场韧性,铸牢防护坚盾,“先为不可胜”,才能保存自己,进而消灭敌人,打赢未来战争。

纵观战争形态的发展演变,战场工程防护早已超越传统工事构筑与结构加固的范畴,成为支撑战略威慑、保障战争潜力、维系国家安全的重要战略手段。可以说,战场工程防护构筑起的,不仅是一座座物理阵地,更是战时指挥运转、物资保障、力量储备、潜力释放的安全底座。

一段时间以来,隐身武器穿透、智能弹药突防、蜂群饱和攻击、深钻地毁伤等新型作战手段层出不穷,战场打击已从单纯物理毁伤延伸至体系肢解、链路阻断、效能压制等多元维度。战时工程防护必须摆脱传统的思维惯性与路径依赖,聚力打造抗毁顽存的战场韧性,实现“局部受损不垮体系、节点遭毁不致崩盘、持续受击仍可续战”。这是工程防护建设适应未来战场的突围方向。

着眼未来战争
构筑防护坚盾

李晓军 唐振宇

新防护材料赋能战场韧性。当前,各方都在推动新一代防护材料从实验室研究向规模化工程应用转化,以促进工程防护能力跃升。超高性能混凝土的抗压强度可达200兆帕以上,是普通混凝土的4至6倍,在等抗力条件下可大幅减小结构截面尺寸,降低工程成本。纤维增强复合材料具有轻质高强、耐腐蚀、可设计性强等优点,适用于防护结构的快速加固和修复。多孔吸能材料和缓冲介质,则在地下工程隔震减震方面大有可为。3D打印建造技术、装配式建筑技术和快速注浆固结技术等新型施工工艺,也能显著提升防护工程的快速构建和快速恢复能力。此外,超材料技术的引入为防护理念开辟了新的维度——通过人工微结构实现对电磁波或应力波的定向调控,能够兼顾隐身与吸能的双重需求,赋予防护工程更强的战场生存韧性。

智能化技术赋能战场韧性。当前,人工智能正日益嵌入工程防护的探测、决策、拦截与自愈全链条中,推动其从被动监测迈向主动响应与自主防御。AI辅助自修复水泥基复合材料的裂缝监测与机理研究,从材料层面实现损伤感知与自主修复。美国陆军已将AI用于地面平台,实现爆炸物威胁的毫秒级检测与分类。俄罗斯国家技术集团推出的Zubr系统,能够独立探测并自动追踪无人机,可更好地为关键基础设施提供安全保护。

综合防护赋能战场韧性。当前,工程防护正朝着多功能复合拦截与软杀伤耦合的方向迈进,着力打造“工程结构、电子干扰、超近程拦截”的协同一体化联合防护体系。俄罗斯国防部第三中央科学研究所已研制出激光干扰装置,通过向防空武器系统注入虚假信息实现引偏,在物理对抗基础上拓宽了信息化防御路径。各国还针对无人机的战场威胁开发出电子干扰、高功率微波与导弹、激光武器分层拦截等手段和战法,建立起“探测—干扰—拦截”杀伤链,实现软硬杀伤一体化。

筑垒千日,用在一时。未来的战场工程防护将更加讲求设施布局科学、节点冗余充足、功能衔接紧密、抢修再生高效。必须着眼未来战争特点,以系统思维优化战场整体布局,以前沿技术突破防护瓶颈短板,持续推动防护体系迭代升级,让相关的战场设施和防护工程深度融入联合作战体系和国家安全体系,这也是战场韧性的题中应有之义。

(作者单位:军事科学院国防工程研究院)