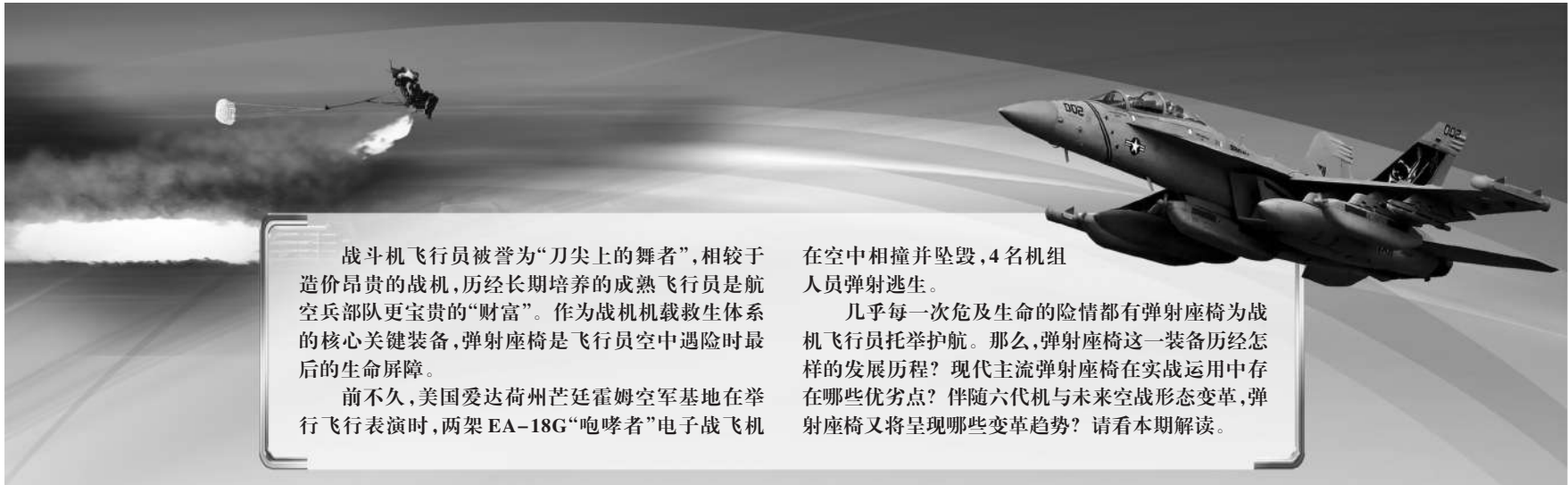




战斗机飞行员被誉为“刀尖上的舞者”，相较于造价昂贵的战机，历经长期培养的成熟飞行员是航空兵部队更宝贵的“财富”。作为战飞机载救生体系的核心关键装备，弹射座椅是飞行员空中遇险时最后的生命屏障。

前不久，美国爱达荷州芒廷霍姆空军基地在举行飞行表演时，两架 EA-18G“咆哮者”电子战飞机

在空中相撞并坠毁，4名机组人员弹射逃生。

几乎每一次危及生命的险情都有弹射座椅为战飞机飞行员托举护航。那么，弹射座椅这一装备历经怎样的发展历程？现代主流弹射座椅在实战运用中存在哪些优点？伴随六代机与未来空战形态变革，弹射座椅又将呈现哪些变革趋势？请看本期解读。

弹射座椅：用火箭“炸”开生路

■白季平 王程梦

兵器广角

空战技术迭代，弹射座椅应运而生

在螺旋桨飞机主导的早期航空时代，飞行器飞行速度慢、高度低、过载小，飞行员遭遇险情时，可直接开盖跳伞逃生，无需专用弹射装置。随着二战后期喷气式战机投入实战，航空器飞行速度、高度大幅提升，传统人工跳伞方式逐渐失效。高速飞行状态下，强劲气流会牢牢禁锢飞行员身体，徒手脱离座舱难度极大。即便成功出舱，也极易与战飞机身结构发生碰撞，伤亡率居高不下。为破解高速空战救生难题，弹射救生技术应运而生，在数十年实战与演训实践中多次技术迭代，形成了成熟可靠的救生机理。

弹射座椅发展大致历经四代技术革新。第一代弹射座椅诞生于20世纪40年代，以压缩空气弹射为核心技术，依靠机械结构完成基础弹射动作，主要应用于早期低速喷气战机。这一阶段的弹射装置结构简单、动力有限，不具备低空、低速应急救生能力，且全程需要飞行员手动操作开伞，在复杂飞行姿态下成功率极低。

20世纪60年代，第二代弹射座椅全面普及，突破“零高度、零速度”时的救生瓶颈，成为现代弹射救生技术的基石。该型座椅采用火药弹射筒搭配火箭助推的二级动力模式，通过机械传感装置识别飞行状态，可在战机静止、低空低速险情下完成有效弹射，自动开伞机构替代人工操作，大幅降低飞行员操作难度，有效解决了低空坠机逃生难题。

20世纪70年代至21世纪初，空战进入超音速、大机动对抗时代，第三代自适应弹射座椅应运而生。针对超音速飞行、侧翻、失速等复杂工况，新一代座椅搭载微型计算机、多维度传感设备，能够实时识别战机飞行姿态、飞行速度、海拔高度，自动切换救生程序。无论是中空高常规故障、低空高速突防险情，还是舰载机近地迫降失效，都能精准匹配弹射推力、开伞时机。俄制K-36、英制MK系列为代表的第三代弹射座椅，凭借稳定可靠的实战表现，成为各国主力战机的标配装备。

进入21世纪，随着五代隐身战机批量列装，第四代智能弹射座椅逐步投入应用。该型座椅融合智能感知、生理监测、精准搜救等多元功能，不再是单一的逃生装置，而是一体化智能救生平台，可适配隐身战机超音速机动、复杂电磁环境作战、全域远海部署等全新作战场景，实现了弹射救生从“被动应对”向“主动适配”的跨越升级。

经过数十年技术沉淀，现代弹射座椅形成了一套自动化的闭环救生机理。飞行员触发弹射指令后，系统瞬间完成乘员



美国 ACES5 型弹射座椅



英国马丁·贝克公司 US18E 型弹射座椅进行地面弹射测试。

资料图片

应急锁止、舱盖破除、人椅离舱、火箭助推、姿态矫正、开伞减速等流程。隐身战机普遍采用穿盖弹射模式，通过预埋微爆装置击碎座舱玻璃，省去抛盖耗时，大幅压缩弹射响应时间；二级动力系统分级启动，既保证快速脱离机身规避结构碰撞风险，又能精准控制弹射过载，保护飞行员身体安全；多维度稳定装置实时矫正座椅姿态，防止高速气流、异常姿态引发的二次伤害。整套系统依托精密的机械结构、智能的传感控制、稳定的动力输出，构建起毫秒级的云端生命防线。

围绕适配实战，固有瓶颈亟待突破

现役主流第三代、第四代弹射座椅经过数十年实战检验，技术日趋成熟，已深度融入现代空战与日常备战的保障链条。

全域全姿态救生能力，是其最核心的实战优势。飞行中可能出现的各种极端场景：零高度零速度、高空超音速、倒扣失速、远海海面等，现役弹射座椅均能有效响应。2025年1月，美国空军一架 F-35A 在阿拉斯加艾尔斯空军基地进近过程中坠毁，飞行员借助马丁·贝克 US16E 弹射座椅成功逃生。这已是该型号座椅在 F-35 机型上的第10次成功救生。而据马丁·贝克公司统计，截至2025年底，该公司生产的各型弹射座椅已累计挽救超过7700名飞行员的生命。

优异的过载防护设计，则让救生不再以伤残为代价。老式弹射装置的高强度冲击，曾令大量幸存飞行员脊柱、颈椎永久受损，从此告别飞行。现代座椅通过分级点火、时序控制、柔性缓冲、肢体锁止等多重防护，精准压缩过载窗口，弱化冲击伤害。绝大多数飞行员弹射获救后，经短期康复即可重返蓝天。

模块化设计与一体化搜救体系，进一步拓展了弹射座椅的战场价值。标准化组件可快速适配歼击机、教练机、舰载机等多类机型，简化后勤保障流程；集成的卫星定位、应急信标、生命监测模块，则在弹射瞬间同步启动，联动地面与空中力量构建起“弹射逃生—精准定位—快速搜救”的完整闭环，解决了远海、偏远空域搜救响应慢的痛点。

然而，越是可靠的弹射系统，其短板在极端条件下就暴露得越发刺眼。最大的硬约束来自物理极限。现役

弹射座椅的最佳工作区间条件苛刻，在高超音速、非常规机动状态下，弹射座椅恐怕难以发挥真正作用。2025年11月，印度空军一架“光辉”Mk1A 战机在迪拜航展约60米低空大俯角急转时失速坠毁，飞行员未能弹射逃生。这次事故从失控到坠毁的时间窗口极短，导致弹射座椅来不及发挥作用。

第二重隐患藏在火工品自身的可靠性里。弹射座椅依赖爆炸螺栓、火药弹射筒、机械锁止机构等火工组件，常年经受战机复杂工况的考验，装药衰减、部件老化、传感失灵等风险难以彻底避免。2024年5月，美国空军一架 T-6A 教练机在地面运行时弹射座椅误启动，一名飞行员教练重伤不治；2025年12月，俄军一架苏-34 在机库内停放时 K-36D 弹射座椅意外触发，两名飞行员被垂直弹射撞向混凝土顶棚。可见弹射系统十分依赖精细化维护，在地面上的误触发可能比空中故障更致命。

最后，机载空间约束带来的性能取舍矛盾难以调和。五代隐身战机为优化气动外形、提升隐身性能，座舱空间大幅压缩，弹射座椅需要在有限体积内集成动力、传感、防护、救生等全套设备，结构密度趋近极限。狭小的安装空间压缩了缓冲防护结构的设计冗余，导致极端工况下防护能力有所受限。同时双座战机存在弹射时序差，低空高速下坠的紧急状态下，短暂的时间差极易引发失效风险，成为难以彻底解决的结构性隐患。

紧跟战机发展，拓宽未来救生边界

当前，各国战机正向隐身化、智能化、有人无人协同化快速发展，作战空域更广、飞行速度更快、对抗态势更复杂，对弹射座椅的救生速度、适配能力、智能水平、全域保障能力提出了全新更高要求。未来弹射座椅发展，将立足现有技术短板，紧跟战机迭代节奏，全面适配新时代空战体系。

对现役弹射座椅进行精细化迭代优化，是近期装备升级的核心方向。针对隐身战机作战特性，全面普及优化穿盖弹射技术，采用新型柔性微爆材料，既能够进一步缩短弹射响应时间，又能避免舱盖碎片损伤飞行员。同时，优化自适应动力调控技术，依托智能算法，

根据飞行员体型体重、战机实时飞行姿态、空域环境，动态调节弹射推力、点火时序、姿态矫正角度，精准平衡弹射过载与救生高度，兼顾不同体型飞行员的防护需求，解决传统座椅推力固定、适配性差的问题。

在全球救生保障方面，持续升级一体化野外生存与搜救系统。针对战机复杂的任务特点，优化座椅内置救生模块，升级低温保温、海水淡化、野外防护、急救救治设备，提升飞行员极端环境下的自主生存能力。同时，升级卫星定位、抗干扰应急信标，强化复杂电磁环境下的信号传输稳定性，实现弹射后全天候、全地域精准定位，进一步压缩搜救响应时间。此外，通过模块化升级改造，提升座椅部件通用性、可靠性，优化高温、高湿、高盐环境下的抗腐蚀、抗老化性能，降低故障概率，简化后勤保障流程，提升装备常态化战备水平。

面向六代机与未来空战形态，未来新一代智能弹射救生系统将摒弃传统被动救生模式，构建主动预判、自主决策的智能救生体系。依托机载全域感知设备与 AI 智能决策系统，实时监测战机结构状态、动力工况、战场损伤情况以及飞行员生理状态，提前预判险情态势，自主筛选最优弹射时机与逃生角度，无需人工触发即可完成全自动弹射救生，彻底解决高超音速、极端姿态下的逃生滞后问题。

动力与结构技术的革新，破解性能取舍矛盾。未来弹射座椅将采用新型复合可控动力系统，替代传统单一固体火箭动力，实现推力精准可调、工况稳定可控，在降低整机重量、缩小结构体积的同时，大幅提升弹射动力冗余。新型碳纤维复合材料、轻量化智能组件的应用，将有效降低座椅自重，减少战机载荷占用，助力战机提升航程与机动性能，同时强化结构强度与防护能力，实现轻量化与高防护的双向突破。

纵观航空装备发展历程，弹射座椅虽非直接打击装备，却是守护空战战力之关键基石。从机械弹射到智能救生，从有限适配到全域覆盖，弹射座椅的每一次技术升级，都是对生命底线的坚守、对战场需求的贴合。未来，随着航空救生技术、智能控制技术、新材料技术的持续突破，弹射座椅将继续挽救更多飞行员的生命。

新装备动态

2026年5月，瑞典萨博公司正式发布 HEAT 758 型反战车高爆炸弹。在此前的实弹演示中，该弹药从约500米外击穿了 T-80 主战坦克的侧方装甲，展示了其对现代装甲的有效打击能力。

HEAT 758 弹药是一款专为“卡尔·古斯塔夫”M4 无后坐力炮设计的反战车高爆炸弹。它的核心任务是摧毁配备有先进爆炸反应装甲的重型主战坦克。据相关报道，HEAT 758 弹药可对抗多款爆炸反应装甲系统，适配现代复杂装甲对抗的战场环境。综合看来，HEAT 758 弹药呈现出更智能、穿甲能力更强大、射程远的核心优势。

相较于传统反装甲弹药，HEAT 758 弹药采用“串联战斗部”设计：在击中目标时，前方的“前驱装药”会首先作用，引爆车体外侧的爆炸反应装甲，随后再由后方主装药击穿载具主装甲，利用金属射流摧毁车体内部。值得关注的是，该弹药整合了数字火控技术，可与“卡尔·古斯塔夫”M4 无后坐力炮的火控系统连线，自动识别弹药类型并计算射击参数与弹道。

据萨博公司介绍，HEAT 758 弹药可击穿厚度达700毫米的轧制均质装甲，相比前代 HEAT 751 弹药提升了200毫米，有效射程也增加到了600米。同时，弹药重量保持在3.7千克左右，尺寸与前代相当，实现了杀伤力与机动性的进一步平衡。

与重型反坦克导弹相比，HEAT 758 弹药及其发射平台展现出了独特的“分布式火力”优势。一方面，该弹药能摧毁成本高出自身1000倍的先进坦克，这种巨大的成本差异，使其能大量采购并下发至班一级作战单位，在作战期间能够及时补给，形成密集的反装甲火力网。另一方面，在巷战、丛林等短兵相接的环境中，智能火控系统让 HEAT 758 的射手能节省装填和发射的准备时间，反应速度远超需要锁定目

步兵反装甲的新利器

标、等待导引头制导的反坦克导弹。

当前多个北约国家已为步兵部队采购并列装了卡尔·古斯塔夫 M4 系统，可以预见，随着 HEAT 758 弹药的量产和交付，它将成为步兵应对重型装甲威胁的有效武器，在现代陆战攻防体系中发挥重要作用。

下图：HEAT 758 型反战车高爆炸弹。资料图片



无人机：“无限续航”不是梦

■胡勇华

兵器扫描

不久前，美国克劳斯·哈姆达尼航空航天公司成功完成无人机空中激光充电技术演示验证。试验中，研发团队在千米级飞行高度，向一款太阳能长航时无人机传输大功率激光能量，光束全程保持稳定跟踪，实现了军用无人机动态飞行状态下的持续能量补给。

在现代局部战争和军事行动中，无人机已成为重塑战术规则的核心作战装备，广泛应用于情报监视侦察、边境巡逻、目标定位、通信中继、电子对抗乃至火力打击等任务。但无论性能多么先进的无人机，续航能力始终是制约其作战效能发挥的核心瓶颈。

在实战中，无人机滞空时间有限，往往刚抵达任务区域就需返航补能；即便是长航时察打一体无人机，也难以完成超长时间的不间断任务，必须依靠多架次接力起降、轮换补位。频繁的反航补能，不仅会造成任务窗口的“断档”，大幅增加了无人机在起降、往返过程中被发现、拦截击落的风险，还给战场后勤保障带来沉重负担。

近年来，各国科研人员一直在寻找破解无人机续航难题的路径。从高能量密度锂电池、氢燃料电池到航空燃油混合动力系统，能源技术升级带来续航里程的不断提升，却无法突破“必须返航补能”的底层限制。空中激光充电技术的发展，则为无人机实现“边飞边充、近乎无限续航”提供了一条可行路径。

通俗来讲，无人机空中激光充电，就是用高能激光束打造了一条看不见的“空中能量传输链路”，完成电能的远程无线补给，分为“电能变光能、光能稳传输、光能变电能”三个环节，整套系统分为地面激光发射与机载能量接收两

大模块。地面端是大功率光纤激光器，可将电能转换为方向性极强、能量高度集中的高能激光束，是整个系统的能量源头。为解决激光束远距离精准锁定高速飞行无人机的核心难点，发射系统配套了高精度光束控制软件与高速伺服跟踪机构，能实时捕捉无人机飞行状态，动态调整激光发射角度，即便无人机遭遇气流扰动或做出机动动作，也能持续稳定瞄准机载接收装置。

机载端搭载轻量化专用激光接收器，针对特定波长激光优化的高效光伏电池阵列，光电转换效率远超常规太阳能电池板，可将接收到的激光光能高效转换为电能。转换后的电能，一部分直接供给无人机飞控与动力系统支撑飞行，另一部分充入机载电池储备，真正实现“边飞边充”。此外，该激光束还具备传递数据的能力，可在传输能量的同时，实现地面站与无人机之间数据双向交互，兼具抗干扰备用通信链路功能，提升了战场环境适应性。

事实上，远距离无线能量传输技术的探索已有近百年历史，早在上世纪70年代，就有科研机构率先开展了微波驱动小型飞行器的原理验证，证明了无线能量传输的可行性，但微波传输光束发散大、能量集中度低的短板，难以满足实战需求。随着激光技术的成熟，凭借方向性强、发散角小、能量密度高的优势，激光无线能量传输成为各国研发重点。

目前，激光无线能量传输技术尚处于研发阶段，距离实际投入使用仍有很长的路要走。但从技术发展前景来看，一旦空中激光充电技术成熟并大规模列装，将从根本上改写无人作战的底层逻辑。它将彻底打破无人机续航瓶颈，为未来大规模无人机作战提供技术支撑，其后续发展值得持续关注。