

★

军工T型台

应对旧机型性能老化,打造新一代高级教练机

高级教练机具有高机动性、操控相对灵活等特点,担负着多机种飞行员从基础飞行技能到高级战术训练任务。

20世纪60年代,T-38“禽爪”教练机服役后,经历了多次升级,机体老化、技术过时、维护成本上升等方面问题频频显现,该教练机训练出动率下降,飞行员培养周期逐渐拉长。

2015年,美国空军启动“T-X”项目招标,要求设计一款兼具成本效益和技术先进的教练机。美国波音公司与瑞典萨博公司联合推出“T-X”方案,在与韩国T-50A、意大利M-346等教练机竞标中胜出,于2018年9月获得价值92亿美元的合同。根据合同,波音与萨博公司将交付351架飞机,46台地面训练模拟器和相关支持设备,以取代T-38机队。次年9月,美国空军宣布将新一代高级教练机命名为T-7A“红鹰”。

作为适应五代机及未来六代机训练需求而设计的先进教练机,美军对新一代高级教练机寄予厚望。

一方面,T-7A“红鹰”教练机的性能按照五代机多任务训练特性的标准打造。T-7A“红鹰”教练机外形与F/A-18战斗机相似,由瑞典“鹰狮”战斗机同系列F404加力涡轮风扇发动机提供动力。按照设计,T-7A“红鹰”教练机支持持续高攻角飞行、超声速飞行和过大过载飞行能力,发动机的强大推力又赋予飞机快速加速能力,能够最大限度模拟F-35等高机动性战斗机的飞行特性;驾驶舱采用全玻璃化设计,配备大尺寸显示器、数字化电传操纵系统,与现役战斗机的操作界面相似。

另一方面,T-7A“红鹰”教练机计划为飞行员提供一套先进的训练方案。除飞机本身外,美国同波音公司、萨博公司签订的合同中还包含了地面训练模拟器和相关支持设备,学员可以在模拟座舱里,运用模拟雷达和武器系统,熟悉战斗机操作界面;地面训练模拟器可以与实机实时连接,创建一个“虚实结合”的训练编组,老飞行员空中带飞,新飞行员在地面模拟,有利于新飞行员循序渐进地开展高难度课目训练。

2023年6月,T-7A“红鹰”教练机完成首飞。飞行过程中,试飞员不仅验证了飞机部分性能,还展示了该型飞机的安全性与敏捷性,标志着该项目进入工程与制造开发阶段。

最近,电动垂直起降飞行器(eVTOL)受到世人关注。美国一家公司宣布,计划研制一种外形更大、航程更远的eVTOL。据了解,该飞行器采用无人驾驶或者可选有人驾驶,具有更好的操控灵活性与任务执行能力。

近年来,随着全球军事战略转型,各国对eVTOL的需求十分迫切,eVTOL采用分布式电力推进和运用全电/混合动力技术,可以实现垂直起降。得益于电动机、电池和自动化技术的快速发展,eVTOL具备运行成本低、噪声小、自动化程度高等方面优势,受到不少国家军队的青睐。

说到eVTOL,我们不得不提起它的发展历史。20世纪初期,垂直起降技术最早应用于直升机机型中,以美国单旋翼带尾桨式直升机VS-300(美陆军编号R-4)为例,二战期间,美军先是将R-4作为指挥观察机投入战场,后来执行运输和救援任务。然而,早期垂直起降飞行器受制于技术问题,动力依赖于燃油驱动,噪声大且制造维护成本高。

进入21世纪,随着锂电池技术和电力推进系统的发展,eVTOL诞生并走进世人视野。世界各国加大对eVTOL的研发投入,旨在探索其在军事领域的潜在应用。2020年,美国空军启动了“敏捷至上”项目。2023年9月,美国一家航空制造商提前6个月交付首架试验型eVTOL。该飞行器首次部署于爱德华兹空军基地,用于验证其在物资补给、短途空中运输和战术支援等任务能

前段时间,有新闻报道称,美国对新一代教练机T-7A“红鹰”项目规划进行调整,将投入量产时间推迟一年。

T-7A“红鹰”教练机采用玻璃驾驶舱,与F-35等现役战斗机的操作界面相似,并搭载高仿真地面训练系统,能够用于下一代战斗机和轰炸机飞行员训练,是美国新一代高级教练机。

美国新一代高级教练机项目频频延迟——

“红鹰”为何步履蹒跚

■肖凡李松原



理想“丰满”难掩现实“骨感”,T-7A项目进展迟缓

随着大国军事竞争从单纯装备对抗上升到能力体系对抗,美军认为,传统的建模与仿真和基于模型的系统工程,无法有效应对作战环境动态变化、装备系统复杂度上升、成本超支和交付能力不足等一系列问题挑战。

2018年,美国开始实施数字工程生态系统,并在T-7A“红鹰”教练机的设计制造过程中得以运用,实现从设计到制造的全流程革新。

一是基于模型的系统工程。T-7A“红鹰”教练机摒弃传统“图纸+实物验证”的设计模式,而是采用三维数字化模型驱动开发,以缩短开发周期、降低测试成本、保证飞机质量。通过模型开发与测试,T-7A“红鹰”教练机实现与空军现役战机在结构部件组成、架构设计等方面高度相似,部分子系统可以使用现役战机维护基础设施,弹射座椅、发动机等可以快速更换。

二是虚拟测试与数字孪生。波音公司将数字孪生技术贯穿于T-7A“红鹰”教练机的设计制造,使其能在虚拟环境中完成部分测试工作。首飞前,开发人员对T-7A“红鹰”教练机的数字孪生体进行大量虚拟测试,覆盖多种复杂场景,进一步降低研发风险。

三是开放式任务系统架构。在设计T-7A“红鹰”教练机时,波音公司依托数字化网络完成,工程师、飞机维护人员等可以在网络中参与开发,实时更新生产计划、维护程序等内容,团队之间可以共享开发进度。

理想“丰满”难掩现实“骨感”。T-7A“红鹰”教练机的工程设计很先进,但频频出现的问题,导致项目多次延迟。

2021年6月,T-7A“红鹰”高级教练机被曝出零件短缺、机翼摇晃等方面研发问题,必须花费15个月时间解决。2022年12月,美国有关部门表示,T-7A“红鹰”高级教练机在弹射座椅和相关飞行控制软件方面存在问题。有新闻报道称,T-7A“红鹰”教练机的弹射座椅问题与F-35早期服役版本非常相似——不同身高体重的飞行员在逃生时,弹射座椅可能对其身体造成不同程度的伤害。此外,研发经费预算不足也导致研发进程迟缓。

T-7A“红鹰”教练机问题频频,交付时间一推再推,这将导致服役超过60年的T-38教练机还要继续使用,增加了事故发生风险概率。

多项技术问题需要解决,项目延迟不可避免

自2018年波音公司以“数字工程革

自2018年项目启动后,T-7A“红鹰”教练机形成初始作战能力的时间已多次延迟,从签订合同的2024年推迟到2027年。美国为何频频延迟新一代高级教练机项目进程? T-7A“红鹰”教练机研制遇到哪些难题? 未来发展路向何方? 请看本文解读。

命”赢得T-7A项目竞标以来,该项目已多次延期,量产交付延迟至2026年,形成初始作战能力从原定的2024年推迟至2027年,不仅暴露出高端装备研发的复杂性,也凸显出技术理想与工程现实之间的巨大落差。

目前,T-7A项目的技术瓶颈之一是弹射座椅系统。美国空军给出的指标是弹射座椅对飞行员的体重适配范围要扩大到46.7至111.1千克,而此前弹射座椅的适配范围在63.5至95.7千克。多次测试数据显示,这款弹射座椅系统存在重大安全风险,飞行员可能会面临脑震荡、承受超出生理极限的飞行加速度、在高速飞行情况下面罩脱落等方面问题,对于体重较轻的女飞行员而言风险更大。在飞行时速率较低时,座椅的弹射同样存在可靠性问题。这样的飞行速度在飞机起飞和降落时很常见,而起飞和降落恰好又是最容易发生飞行事故的环节。据今年2月美国发布的一份报告显示,T-7A“红鹰”教练机的紧急逃生系统不符合空军适航性认证的最低安全要求,目前适航性验收结果标定为高风险。

事实上,弹射座椅自立项之初就被认为有潜在问题。2021年,美国政府问责局在武器系统年度评估中将其列为该项目重要风险之一,并在次年的报告中将弹射座椅列为顶级项目风险。

T-7A“红鹰”教练机的机载氧气

生成系统同样存在性能缺陷。美国发布的一份报告指出:“综合测试团队将在未来的初始运行测试和评估期间,继续收集机载氧气生成系统的测试数据。”这表明,目前该系统还未达到设计要求。

除技术层面问题外,成本上升、跨国合作困难、全球化供应链不稳定等因素也影响着T-7A项目推进。目前,波音公司因项目延误,累计亏损超过13亿美元,而美军为T-38机队延寿支出7.5亿美元,几乎抵消了T-7A“红鹰”教练机较低报价带来的采购成本优势,更凸显“低价竞标”策略的失败。

面对困局,美军与波音公司正在开展战略调整与技术修正。根据之前发布的调整计划,波音公司将于今年交付4架测试型飞机,将测试机队的规模从5架提升到9架,加快推进气动、飞控、弹射等相关课目验证工作。美军表示,将为这些工作采取额外激励措施,优先保障T-7A项目的后续投入。

从目前看,T-7A项目风险管控不当,多项技术问题需要解决,时间和资金成本也在逐步累积。T-7A项目能否按照最新修订的计划投入量产、形成初始作战能力,真正担负起美军新一代高级教练机的重任,还要拭目以待。

上图:T-7A“红鹰”教练机。资料图片

电动垂直起降飞行器的军事应用

■季思含

力。2024年8月,美国另外一家公司也向美国空军交付了首架“子夜”eVTOL,将用于随后进行的评估和测试项目。根据合同,该公司将交付6架eVTOL和1台eVTOL模拟器。2022年,俄罗斯伊尔公司推出了一款混合动力垂直起降飞行器。该飞行器最大航程1200公里,飞行速度为270公里/小时,未来可用于军事物资运输和战场伤员救援。目前,该飞行器已完成设计工作,进入系统试验阶段。2024年,欧洲一家公司也推出了一款混合动力垂直起降飞行器。该飞行器的最大特点是在飞行中可以通过涡轮螺旋桨转动为电池充电,主要用于战场伤员后送和物资补给等任务。

当前,在特种作战、伤员救援、野战运输等军事领域,eVTOL具有良好的发展前景。一些军事强国着力打造eVTOL的军用机型,以期未来将其纳入作战体系,应对复杂多变的战场环境。结合在军事领域应用,eVTOL具有以下4点优势。

一是垂直起降能力强。eVTOL无需跑道,能够在狭小区域起降,如停车

场、道路、战舰甲板或者森林空地。这一特性使其在战场环境中具有极高的灵活性,能够迅速抵达传统飞机难以进入区域。

二是自主飞行与远程操控灵活。在复杂战场环境中,eVTOL配备自主飞行系统,能够确保飞行器安全飞行,提高任务执行效率。此外,eVTOL还兼容远程操控模式,能够显著降低人员伤亡风险。

三是飞行隐蔽性高。与传统飞机相比,eVTOL的电推进系统的噪声和热量更低,有利于隐蔽飞行。在特种作战和侦察任务中,eVTOL能够降低被敌方发现概率。

四是多任务适应性好。eVTOL可以根据任务需求进行模块化设计与生产,还能够实现快速改装,执行多种军事任务。在侦察任务中,eVTOL搭载多种传感器,可以执行侦察和情报收集任务,为军事决策提供关键信息支持。在特种作战中,eVTOL能够迅速将特种部队运送到指定位置,执行突袭等高风险任务。在战场救援、物资

运输等保障任务中,eVTOL能够迅速抵达伤员所在地,进行紧急医疗和伤员撤离,有助于提高任务救援效率。此外,eVTOL还能够执行短距运输任务,将物资、弹药等迅速运送到前线,在复杂战场环境中具有较高的军事应用价值。

不过,eVTOL作为一款新技术领域产品,要实现在军事领域的转化应用,还需要攻克多项关键核心技术难题。近年来,随着新科技快速发展,eVTOL的各项技术取得长足进步。在电池技术方面,新型储能材料的投入使用,使得eVTOL的航程和载荷能力得到大幅提升;在混合动力系统方面,采用电动与燃油驱动的混合动力方案,成为eVTOL的最新发展趋势;在自主飞行与智能控制方面,发展智能驾驶技术、态势感知与空中避障技术,提高eVTOL在复杂战场环境中的飞行安全性和适应性,是eVTOL发展道路上需要解决的重点问题,也是难点问题。

2023年,国外一家公司推出Integrator VTOL无人机系统,没有选择在一体机

方面用力,而是采用两种不同无人机“混搭”结构,飞到空中后可以“一分为二”,也可以“合二为一”,从而以这种独特方式达成目的。Integrator VTOL无人机系统由两种不同尺寸大小的无人机组成,起飞时可以借助多旋翼无人机提供的向上升力,完成垂直起飞,在达到固定翼无人机所需飞行条件后将其“放飞”。固定翼无人机飞向远方、开始独立执行任务时,多旋翼无人机则返回起降点。固定翼无人机返回时,多旋翼无人机再度升空,回收完固定翼无人机后,带着它完成降落过程。

从目前阶段看,eVTOL的全部价值没有被完全发掘,还有很大的应用空间和发展潜力。未来,随着新技术投入使用及相关法规文件完善,eVTOL或将迎来更广的发展前景,最大限度实现军事价值。

★

军工科普

★

军工世界观

前期,德国国防部与陶鲁斯系统公司签署合同,对“金牛座”巡航导弹启动现代化升级工作,力求在2045年前保持战备状态。此次升级,涉及增强隐身能力、优化制导系统、提升与多型战机的适配兼容性等多个方面。

“金牛座”巡航导弹是由欧洲导弹集团和瑞典萨博公司合资的陶鲁斯系统公司开发,于2006年开始服役。该导弹射程可达500公里,配备约480公斤的双级战斗部,融合GPS、惯性导航、图像匹配和末端红外成像等多种制导技术,具备较高的打击精度和生存能力,可用于对地下掩体、指挥中心等高价值目标实施精确打击,是德国联邦国防军现有武器库中最先进的巡航导弹之一。

「金牛座」巡航导弹开始升级

■刘禹杉周默草

德国积极推动“金牛座”巡航导弹的现代化升级工作,背后有着多重考量。

一是为现有导弹延寿。德国联邦国防军目前装备约600枚“金牛座”巡航导弹,其中约有一半使用许可证过期,安全性无法得到保障。德国计划通过统一的现代化升级改造,延长导弹的使用寿命,使其重新进入战备状态。

二是提升军事实力。德国联邦国防军加速推进武器装备军事现代化进程,以有效应对潜在军事威胁。通过升级,“金牛座”巡航导弹将具备更强的隐身突防和远程打击能力,有效增强地区军事威慑能力,提升德国在欧洲安全事务中的话语权。

三是强化集体防御。升级“金牛座”巡航导弹涉及德国、瑞典等多个国家,通过共享技术和资源,北约成员国之间的合作将更加紧密,联合作战能力得到加强。升级版“金牛座”巡航导弹将成为打击力量的重要组成部分,对于强化北约的集体防御能力起到关键作用。

“金牛座”巡航导弹升级是德国推进军事现代化进程的一个缩影,折射出近年来德国联邦国防军在军事战略上的转变。去年4月,德国联邦国防军启动军事改革,涉及调整部队结构和指挥关系,并大幅增加国防预算。德国联邦国防军一名高官表示,将进一步提高国防军装备采购速度,使德国“成为欧洲威慑和集体防御的中坚力量”。

升级版“金牛座”巡航导弹能否有效提升军事实力,在欧洲地区安全局势上将发挥何种作用,还有待进一步观察。

下图:“金牛座”巡航导弹。资料图片

