

军工T型台

自从莱特兄弟发明世界第一架飞机后,人类的飞行时代便开始了。在这场跌宕起伏的探索之旅中,机翼作为飞机的重要部件,其设计理念正在经历着一场革命性变革——

传统的刚性机翼,正逐步让位于一种更为智能、高效的设计——智能变形机翼。这项技术不仅汲取了自然界飞鸟的智慧,更代表着航空工程的重大突破。它

赋予飞机感知环境、自主调整形态的能力,从而大幅优化飞机性能。

不过,要想真正实现“灵动如翼”的飞行,并没有那么容易。在智能变形机翼带来飞机性能飞跃的同时,前所未有的挑战也随之而来。那么,机翼是怎样发展的?其智能变形又是如何实现的?请看本期解读。

智能变形机翼——

会“思考”的翅膀

■时俊杰 段朋振



智能变形机翼概念图。

资料图片

从僵硬到灵动,机翼的百年进化史

飞机能飞多高、飞多快、飞多远,机翼的形状至关重要。百年来,工程师们为了让机翼适应不同飞行需求,展开了一场跨越世纪的革新之旅。

平直翼时代,是稳中求进的探索。最初,飞机的机翼是平直的,结构简单,低速飞行时相当稳当。设计师们为了追求更加稳定的飞行,还尝试了双翼机、三翼机的设计,但这些设计在高速飞行时阻力较大,反而限制了飞机的速度。

随着材料技术的进步,轻质铝合金逐渐普及,单层平直翼成为飞机的主流选择,在二战时期得到了广泛应用。然而,当飞机试图突破音速时,平直翼遇到了“音障”——前方空气被压缩形成激波,阻力剧增,飞机失控甚至解体的风险急剧上升。

为了解决“音障”,后掠翼应运而生。它能让气流斜着流过机翼,延迟激波的形成。后掠翼的出现,让战斗机的性能得到大幅提升,Me-262喷气战斗机就是这一设计的前驱。

随后出现的三角翼,则能让飞机在高速飞行时获得更高的升力。三角翼的设计,巧妙地将机身“包裹”在激波锥内,是超音速飞行的理想选择。不过,后掠翼和三角翼的飞机在低速起降时升力不足,需要较长跑道。

此外,设计者们还设计了前掠翼。它在某些飞行状态下机动性超群,但高速飞行时翅膀容易像弹簧一样扭曲变形,对材料和结构强度要求极其苛刻。

既然不同形状机翼各有利弊,不能让机翼自己根据不同情况变形呢?于是,设计者们设计出了变后掠翼。它能在飞机起降或低速飞行时,展开机翼获得最大升力,缩短滑跑距离;高速飞行时,收拢机翼大幅减小阻力,提升速度。但机械变形的代价极高,复杂的旋转关节和驱动机构非常笨重,且维护相当麻烦。成本成了困扰变后掠翼应用的大问题。

按需变形,智能机翼引领未来飞行

现代顶尖战斗机,飞机的机翼设计融合了大后掠角、三角翼、鸭翼、可动边条等多种元素,力求在高速、机动和隐身之间找到最佳平衡。但有专家指出,真正的未来属于智能变形机翼。

智能变形机翼不依赖传统的机械结构,而是利用智能材料与分布式控制系统,实现机翼形状实时、平滑、主动调整。这种技术能让整个机翼根据飞机飞行状态进行动态变形,全面提升飞行性能。

智能变形机翼技术的突破性进展,源于多学科技术的深度融合。其技术体系跨越材料科学、驱动控制、环境感知三大领域,形成了“感知—决策—执行”的闭环系统。这一技术范式通过仿生学原理与人工智能相结合,使智能变形机翼获得了传统固定翼设计无法企及的自适应能力。

功能材料是机翼的“肌肉”。记忆金属能记住预设的形状,只需给它加热或通电,它就能从变形状态瞬间恢复原状,非常适合驱动机翼进行大角度的折叠或弯折。压电材料适用于需要快速响应的任务,如抑制机翼的颤抖。只要给它施加电压,它就会产生微小、迅速且精确的伸缩或弯曲,宛如翅膀上的“微调肌肉”。智能复合材料本身就能根据设计,在通电、加热等特定条件下,产生预期的弯曲或扭转变形。无需额外复杂的机械结构,它就可以让机翼拥有“灵活的皮肤”。

分布式智能是机翼的“大脑”。分布式智能控制系统不依赖中央控制系统,而是在整个机翼内部嵌入成百上千个微小的执行单元和感觉单元。这些单元像神经网络一样广泛分布、协同工作,更加安全可靠、轻巧高效。

传感器传来海量数据后,机翼“大脑”依托智能算法,结合飞行任务,迅速计算出最优变形方案,指挥各个“执行单元”精准动作。依托感知网络,“大脑”可以实时、精准地感知外界空气动力变化,进而对机翼变形方案进行调整

和反馈。“大脑”还能利用数字孪生技术模拟优化决策过程,持续学习进化。

智能变形机翼在多种应用场景上尽显优势。

破障拓能——飞机起降降落时,智能变形机翼前缘的缝翼和后缘的襟翼像“手风琴”一样协同向下、向前大角度弯折,大幅增加机翼的有效面积和升力。

飞机翼尖常常会产生涡流,智能变形机翼的小翼就像灵巧的手指,通过微小、快速的形变主动打散这些涡流,降低阻力。这不仅省油,还能显著降低飞机对机场周边社区的噪声污染。有些设计还能在打散涡流的同时,用微型发电机回收一部分涡流动能,为飞机提供额外电力。

驭风逐效——智能变形机翼的后掠角度可以像“折扇”一样平滑连续地改变。低速飞行时,翅膀展开,获得最大升力和效率;高速飞行时,翅膀收拢,显著减小阻力。

通过未来飞控系统,智能机翼可自动计算并调整到当前速度下最优后掠角,巡航更省油。机翼横截面形状也可以智能微调,巡航时保持最佳“S”形流线,延迟激波产生,抑制抖动;起飞时智能调节前缘的缝翼和后缘的襟翼状态,增大升力,提高短距起降能力。

瞬变应战——智能变形机翼可通过局部区域快速、精准变形,使战机获得超强机动能力。在超音速条件下,战机依然能保持超高速滚转速度,从而在空中战中占尽先机。

智能变形机翼让飞机获得了更好的低空突防能力。通过模仿鸟类翅膀的柔性,智能变形机翼可进行波浪式连续变形,实时抵消低空飞行时的强烈乱流。若遇到突然出现的障碍物,左右机翼可以瞬间进行不对称变形,实现近乎直角的急转弯避障,响应时间从传统飞机的十几秒缩短到几秒。

赋予飞行器“生命感”的关键一招

对于飞机来说,减重是“王道”。飞机每减重1%,油耗就能降低约0.7%。不过,智能变形机翼所需的“肌肉”(作

动器)、“神经”(传感器)和控制系统本身就有着重量。如何把复杂的变形机构设计得既轻巧又能承受巨大的飞行载荷和反复变形应力,是当前面临的主要问题。

智能系统本身具有复杂性,想要让机器既聪明又靠谱并不容易。机翼变形过程中,电力驱动会产生热量,热量会影响材料性能和作动精度,气流压力又反作用于变形的机翼……这些电、热、机械力和气流等物理效应相互纠缠影响,传统的控制方法难以兼顾快、准、稳的要求,使得智能化精准控制建模和预测变得极其困难。

此外,智能“大脑”也有算力瓶颈。处理海量传感器数据、运行复杂的智能决策算法,都需要强大的计算能力。如何把这样的“大脑”塞进飞机有限的机载计算机空间和功耗预算里?这也是需要突破的技术瓶颈。

成本与维护难题,是阻碍智能变形机翼普及和推广的“拦路虎”。

智能变形机翼身价高昂:记忆金属、压电陶瓷等功能材料,价格是普通航空铝的几倍甚至十几倍;4D打印、记忆合金丝嵌入复合材料等制造工艺极其精细复杂,生产投入大,产品良好率低。一片智能变形机翼的成本,可能是传统机翼的数倍。

维护也面临着多重挑战。传统机翼的维修,大多依托经验丰富的机械师。但智能机翼融合了材料、电子、控制、软件等专业,需要全新的复合型维护人才。另外,超声波探伤等传统检查方法,很难发现记忆合金丝的微小裂纹、压电陶瓷的性能退化等智能材料内部的暗伤。想要更好地维护智能变形机翼,需要开发新的无损检测技术。

智能变形机翼,绝不仅仅是改变飞机翅膀的形状那么简单。它是人类赋予飞行器“生命感”的关键钥匙,让飞机能像自然界的飞鸟一样,智慧地感知环境、适应变化、优化飞行。

横亘在当前的材料、控制、成本等难题如同坚固的“密码锁”,但每一次科技的突破都在转动解锁的齿轮。当“变形密码”被完全掌握,未来的天空将属于那些拥有智能机翼的飞行器——它们飞得更高效、更敏捷、更安静、更环保,必将开启人类翱翔蓝天、探索天空的新纪元。



保障达人



孙昌友正在检修设备。

韩瑞瑞摄

“加把劲儿,马上就到山顶!”北部战区空军某部雷达技师孙昌友沉稳的声音透过山风,鼓励着后面的队友。他紧了紧身上的工具箱背带,步伐坚定地攀登着通往雷达站的最后一段陡峭石阶。

就在前一夜,孙昌友刚刚完成了一场紧急驰援。来不及多休息,他又踏上了下一段行程。

当孙昌友背着沉重的工具箱匆匆赶到某雷达站时,已是晚上9点多。站领导见他风尘仆仆,劝他先去休息。“故障不等人,早一分钟修复就多一分安心。”孙昌友摆摆手,径直走进雷达方舱。

故障排除,雷达重新发出稳定的波束,窗外已是晨曦微露。孙昌友揉了揉布满血丝的双眼,又检查了一遍数据是否正常,才回去休息。

作为有着25年丰富经验的雷达技师,这样的经历孙昌友早就习以为常。高山海岛、戈壁边陲,数十万公里的巡修路,丈量着他守护祖国“千里眼”的执着足迹。在孙昌友心中,保障好每一部雷达,就是守护战斗力。

在孙昌友刚担任雷达技师不久后的一次演练中,一部关键雷达突然“失明”。霎时间,指挥链路出现盲区,空情态势突然中断。情况的紧急、官兵的急切让孙昌友深刻意识到,护卫雷达装备,就是与时间赛跑,为胜利赢得主动。他和战友们顶着巨大压力,紧急排查、协同抢修,在最短时间内让雷达恢复功能,成功保障了演训任务的圆满完成。

强烈的紧迫感和责任感,驱动着孙昌友一次次挑战“极限”。在一次巡修任务中,雷达波束异常,故障点位于高塔的喇叭口。平台狭窄,高空强风呼啸,喇叭口在平台外缘,十分危险。没有丝毫犹豫,孙昌友同队友系紧安全带,克服强风带来的巨大压力,近乎悬空地完成了部件更换。“雷达就是‘千里眼’,我们决不能让眼睛蒙尘!”

孙昌友不仅是技艺超群的维修专

擦亮巡望空天的“眼睛”

■顾瀚文 李杨

北部战区空军某部雷达技师孙昌友——

家,还是经验丰富的“金牌教员”。排除故障后,孙昌友常常会就地开设课堂。在刚修复的设备旁,他一边演示,一边讲解:“看,这里必须断电,卡扣要这样轻撬,这个信号异常往往意味着……”年轻的官兵围在他的身边认真听讲。现在,孙昌友带领团队整理的《雷达常见故障汇编》已更新到第7版,成为单位技术骨干的实用教材。

“授人以鱼,不如授人以渔。”这是孙昌友多年保障生涯的深刻体悟,“帮一线带出过硬的自修力量,战时才能挽回决胜的每一秒。”

山风掠过,巡修路继续延伸。孙昌友仔细清点工具,目光投向地图上的下一个坐标点。他的身影与脚下的巡修路融为一体,成为保障打赢链条上那枚坚实的铆钉。

“很多人觉得维修是幕后工作,但换个角度看,这里何尝不是前线?”当被问及巡修感受时,孙昌友指向蓝天说,“天线每转一圈,祖国的空情图就清晰一分——守护这片天空的安宁,是我们的职责和使命。”

捷克式机枪：烽火岁月的火力传奇

■强裕功 赵力



捷克式机枪。

资料图片

在中华民族抗战的烽火岁月中,一款来自欧洲的轻机枪凭借出色性能与良好的适配性,成为中国军民抵抗侵略者的重要武器。它就是被士兵称为捷克式机枪的ZB-26轻机枪。这款机枪不仅是20世纪初军工技术的经典,还见证着中国军民保家卫国的决心。

捷克式机枪由捷克布尔诺兵工厂于20世纪20年代研发,定型后迅速投入量产。其设计初衷,是为步兵班组提供灵活且持续的压制火力。它采用轻量化设计,适应中国多山地、丘陵的复杂地形。其可靠性极高,即便在沙尘、泥泞等恶劣战场环境中,也能保持稳定射击,故障率较低。它的点射精度同样出色,既能压制敌方火力点,又能掩护己方步兵冲锋。

捷克式机枪摒弃了传统重机枪的水冷套设计,改用枪管外散热片与可快速更换枪管的组合。这一改动摆脱了对水源的依赖,在缺乏水源的华北、西北战场优势显著。这些战场适配特质,让这款轻机枪被中国大规模引进与仿制。

1925年,中国政府首次引进捷克式机枪。彼时,中国军工体系薄弱,无法自主研发制式轻机枪,捷克式机枪凭借出色的适配性与可靠性成为最佳选择。1930年后,中国开启大规模仿制。金陵兵工厂率先以其为蓝本定型

国产轻机枪,汉阳、重庆等地的兵工厂随后跟进。为了适配中国战场,国内兵工厂在仿制过程中还进行了针对性改进:统一弹药口径,使其与主流步枪、重机枪共享弹药,从而降低后勤压力;部分兵工厂为机枪加装刺刀座,以满足近距离作战需求。

全面抗战爆发后,捷克式机枪被广泛应用于战场。台儿庄战役中,机枪手用捷克式机枪组成交叉火力网,单日击退日军数十次冲锋。相较于正面战场的阵地战,敌后战场游击战对武器的机动性要求更高,轻量化的捷克式机枪恰好契合这一需求。八路军、新四军常将其用于伏击战;士兵携带机枪隐蔽在山道或公路旁,待日军进入射程后,先以机枪压制,再配合其他武器发起冲锋。百团大战中,数挺捷克式机枪便能压制日军碉堡,为破袭任务争取时间;新四军“反扫荡”时,捷克式机枪还用于“麻雀战”——机枪手与步兵交替转移阵地,通过灵活射击来迷惑、消耗日军。

当然,捷克式机枪并非完美。其弹夹容量有限,与日军重机枪对射时火力持续性不足。抗战后期,部分仿制型号因原材料短缺,性能略有下降。但在当时的背景下,捷克式机枪以“够用、可靠、适配”,成为抵抗侵略者的“火力支柱”。

岁月流转,战争的烽火早已消散,但捷克式机枪的身影并未淡出人们的视野。如今,在许多军事博物馆中,仍能看到保存完好的捷克式机枪。这些沉默的“老兵”静静陈列,枪身上的每一道划痕,都是那段烽火岁月的鲜活印记。



军工档案