

一架战机竟然维修了4年？
没错，最近美军透露，一架早在2018年受损的五代机F-22，有望于今年重新服役。据了解，这架战机起飞时因数据计算错误导致起落架提前收回，以机腹擦地的方式在跑道上滑行受损，随即被送到大修厂，开始了漫长的维修之旅。

众所周知，五代机具有超强隐身、超音速巡航、超机动能力等特点，无论是研发制造还是维修保养，都考量着一个国家航空工业技术水平。好用并不意味着好修，隐身涂层脆弱、系统结构复杂……自五代机问世以来，一个个航空维修技术难题接踵而至。那么，五代机的维修保养究竟有多难？国外军工企业又是如何突破这些技术难关？

修一架先进战机有多难

■宋茹 徐喏

军工科普

定期“补妆”—— 风光一小时，“补妆”一昼夜

魔法世界里，有一种神奇斗篷，穿上它就可以隐身。随着航空科技快速发展，五代机首屈一指的变化，就是自带强大的隐身功能。

战机之所以能够隐身，除了拥有一副特殊“筋骨”外，还依赖其私人定制的“美妆”——隐身涂层。

众所周知，雷达通过发射和接收雷达波来检测战机踪迹。隐身涂层的作用，就是吸收雷达波，让对方雷达接收不到战机飞行信息。就像游戏里的精致皮肤能够为玩家提升战力一样，隐身涂层让五代机的隐身能力显著增强。

为了使“妆容”更加精致，航空设计师在“化妆”材料的选择使用上可谓煞费苦心。他们以铁氧基、聚合物为原料，一般会对机身进行3层涂装。在进气道等受气流冲击严重的部位，涂层数量甚至会达到10层。

然而，层层包裹下的五代机虽然具备了良好的隐身性能，但“美妆”的耗费超乎想象。隐身涂层的耐久性差，甚至会对雨水产生“过敏反应”，经过恶劣条件下超音速飞行后，“脱妆掉粉”的情况时有发生，隐身性能也随之减弱。更糟糕的是，受气流影响，涂层一旦在飞行过程中脱落，极易被吸入发动机内，造成严重飞行事故。

“补妆”随时随地进行。以F-22战机为例，每飞行1个小时要进行20多个小时的维护保养，可谓“风光一小时，补妆一昼夜”，维护人员每天有一半的工作时间是给战机修补涂层，每隔一段时间还要全部重新涂装。

“补妆”环境极为苛刻。水分、湿度、湿度等因素要求很高，甚至不允许战机露天停放。有资料显示，如果长时间暴露在阳光直射下，涂层会逐渐开裂，最终成块脱落。每架五代机拥有独立房间——恒温恒湿空调机房，保证环境达标，防止涂层脱落。

“补妆”费用直线上升。据统计，F-22战机每飞行1小时的成本高达5万美元，每更换一次隐身涂层需要近百万美元，高昂的维修费用让不少国家军队难以承担。

修复缺陷—— “先天”不足，“后天”改装

2011年，美军五代机F-35的诞生引起世人关注。F-35继承了F-22大量先进技术，并最大限度地实现通用化，号称能够取代F-16、F/A-18等多种四代机机型，强大性能吸引多国军队竞相采购。

与四代机相比，五代机的技术性能实现巨大跨越。有消息报道称，这种跨越甚至远超前四代战机之间的隔代差距。这得益于五代机隐身外形、有源相控阵雷达和先进模块化航电系统等大量“黑科技”的应用。毫无疑问，五代机列装能够为空军战斗力带来质的跃升。

然而，加装F-35战机后，诸多故障问题接踵而至，让列装国家军队饱受困扰。

原来，研发F-35战机时，就暴露出多项致命缺陷，近千条安全问题。受世界各地不同环境气候因素影响，F-35出现严重“水土不服”——涂层频频脱落、电池低温损坏等问题，让维修人员头疼不已。

不仅如此，复杂系统带来保障多重难题。众所周知，五代机把诸多先进技术集成在同一平台上，难免会出现兼容性问题，就像新系统需要磨合一样，战机在飞行初期出现很多未曾预料的问题，影响战机飞行可靠性。

诸多问题给五代机维修带来全新挑战，各国维修人员为此耗费巨大精



图①：俄军苏-57战机。
图②：修理人员对F-35战机进行地面检查。
资料照片

力。面对“先天”不足，“后天”改装成为必答题。那么，国外维修人员对五代机做了哪些改装升级呢？

一是建强“大脑”。F-35综合处理器(简称ICP)被誉为“战机大脑”，拥有强大的数据处理能力，处理速度是F-22的10倍，飞机的通信、引导和控制等一系列数据处理都要依靠ICP正常运转。F-35战机各种程序代码超过800万行，是F-22的5倍，软件缺陷却高达900多个，一系列问题迫使研发和维修人员对系统进行频繁升级修复。

我们知道，智能手机在升级新软件后，系统运行速度会有所下降。战机也是如此，在多次软件升级后，ICP的运转能力也会遭遇瓶颈。由于模块化设计结构复杂，ICP的修理升级只能靠更换模块解决。有消息称，升级版的处理器预计于2023年投入生产。

二是改善“视力”。F-35战机头盔有着夜视系统、前视红外线跟踪系统、虚拟平视显示器等一系列科技手段“加持”。投入使用前，还要通过头部扫描、建立模型等工序，满足飞行员的“私人定制”。然而，使用不久后，有头盔出现了“冒绿光”问题。

有国外飞行员表示，在气候恶劣的夜晚飞行，头盔夜视摄像头会显示绿色条纹。就像眼球经过强光照射后会难以看清黑暗中的物体一样，绿色灯光的照射会让瞳孔收缩，使飞行员看不到飞机外的光线，造成安全隐患。目前，软件升级、更换有机发光二极管等手段已经应用于头盔的改装升级中，“冒绿光”问题也暂时得以改善。

三是治愈“缺氧”。战机供氧系统的重要性不言而喻，F-35战机的供氧系统能够从大气中直接吸收转化氧气，改变了从地面携带氧气的传统供氧方式。然而，取消备用供氧后，主供氧系统一旦出现故障，极易引发飞行员缺氧。自服役以来，F-35战机飞行员已经报告了数十次缺氧问题，一度造成战机停飞甚至引发飞行事故。

改装后，备用氧气系统重新安装到F-35战机上，在主供氧系统出现故障时，能够自动启动备用系统，防止飞行员因缺氧失去意识导致战机失控。F-35的机载供氧系统还配备了自动化座椅备用氧气源，紧急情况下，飞行员被弹射出战机后，备用系统自动工作，解决氧气供应问题。

在航空设计师的持续努力下，F-35

战机的设计缺陷正逐步解决。目前，一类缺陷已经从15个降至7个，整体性能得到良好优化。

学习“医术”—— 专业化开班办学，培养“战机医生”

作为“战机医生”，维修人员的“医术”决定战机能否快速有效完成修复。

还是以F-35为例，对其进行修理并非易事，涉及地面保障、航空电子设备等15个专业，要求维修人员对多个专业融会贯通。有人问，修理基地已经培养了大量维修技师，老机型的维修经验能否“嫁接”到新机型上呢？

由于五代机结构复杂、部件精密，老机型的维修人员在承担五代机的维修任务后，除了少数通用部件的修理经验可以直接借鉴，大部分维修技术都要重新学习，造成维修人才紧缺的现象。维修人才成为“刚需”。相关国家开始致力于维修训练体系建设，建立维修培训学校，用来提升维修人员的专业技能。

一是“硬件”准备，升级必要教具资源。与前几代战机相比，五代机维修的专业化、智能化程度更高。学校针对五代机的维修程序和特点，设置维修训练装置、制作多媒体课程、制订培训计划，以满足日常训练需要。

二是“软件”升级，引进先进训练系统。与现场实操式的“大班”培训不同的是，新的训练系统采用任务演练训练器和桌面模拟器，提供360度视角以及与技术手册同步的桌面界面。学员甚至不用接触飞机，就能身临其境了解大部分维修流程和故障特征，完成95%以上的训练内容。

三是“课程”开发，构建专业培训体系。专业维修训练课程必不可少，其中包含飞机维修基础理论知识、机体结构、机载电子系统等专业知识，以及电子技术手册使用和交互式软件操作等课程。学习完所有课程后，学员必须通过一系列评估和考核，才能成功拿到毕业证。

在专业化维修培训模式下，相关国家每年超过2000名维修技师能够完成结业，为五代机维修提供保障。

缩短周期—— 从简单到复杂，再从 复杂到简单

现代空战，战机能否实现精准快速维修，关系到空军装备战斗力建设。

早在20世纪20年代初期，维修体制伴随着航空技术的起步而诞生，形成了修理厂式的一级维修体制。经过数十年发展，维修体制经历了从简单到复杂，再从复杂到简单的演变，美军曾进行了三级、四级维修体制的探索，并固化成三级维修体制——即基层级、中继级和基地级维修，在战机维修领域广泛应用。

随着战训需要和维修理念的转变，五代机摆脱了传统的三级维修体制，取消中继级维修，采用效率高、经济性好的二级维修体制，极大缩短了战机维修周期。

然而，二级维修体制虽然减少了维修环节，但维修效率与战训需求之间仍然有“缺口”。为此，国外一些军工企业进行了一系列探索。

其一，提升基地级维修能力。一些国家已将基地级维修能力建设作为战机修理的首要任务，在对维修能力进行系统评估后，增加维修基地的备件储备，建立设施更完备的维修基地，用以缓解五代机的保障压力。

其二，建立零备件全球供应系统。美国计划为F-35战机构建遍布全球的供应网络，通过100多条线路，在各个列表五代机的国家之间运输零备件，缩减零备件的等待周期，以此提高维修效率。

其三，探索先进维修方式。经过航空工程师的数十年探索，基于状态监控的维修方式应运而生，维修方式正在实现由预测性向预防性转变。新的维修方式能够实现战机状态监控和预测，在修理工作未开展时，提前生成维修工作计划，精准缩小故障范围，减少维修成本和工作量。

即使维修保养困难重重，五代机仍然是未来战机的发展趋势。致力于升级维修能力的研发工作从未停止，3D打印、大数据、云计算等先进技术不断投入到五代机的修理维护中，不仅让战机维修的“工具箱”更加丰富，也为新一代战机的设计制造储备“数据”、勾画“蓝图”。

军工T型台

过去一年，澳大利亚空军一直忙着将老旧的F/A-18“大黄蜂”战机退出现役。前不久，随着最后一架“大黄蜂”飞离机场，历经30多年，澳空军终于与“大黄蜂”告别，之后将用F-35替代“大黄蜂”战机。

“大黄蜂”作为早期的四代机，诞生于冷战时期。如今，“大黄蜂”战机各方面性能已经难以满足现代空战需要，战机寿命也接近“尾声”。

澳大利亚退役“大黄蜂”，目的是为了实现在空战战机的更新换代。而目前国际军贸市场能买得到的五代机只有F-35一根“独苗”。

众所周知，F-35价格昂贵且故障问题不断，因此一些国家空军采购四代机的改进型战机是一种“务实”选择。一方面，改进型四代机的采购与使用成本相对较低；另一方面，这种战机的机体结构、航电和雷达系统都经过升级改造，作战性能和系统可靠性都有所提升。

出于以上考虑，部分国家空军通过大批量采购四代机的改进型战机以替代过去的老旧机型。

不过，加拿大空军却做出另外一种选择——购买澳空军二手“大黄蜂”。澳空军“大黄蜂”战机退役后，除几架战机被送往博物馆做展示使用，大部分战机将进行拆解和封存。之后，这些战机部件会被装上运输机，送往大洋彼岸的加拿大空军部队。

此前，加拿大空军也曾宣布要采购“超级大黄蜂”，但这场军购进展并不顺利。

这是为何？原来在采购“超级大黄蜂”之前，美国波音公司与加拿大庞巴迪宇航公司在民用航空领域一直竞争激烈，两者之间矛盾持续升级，导致加拿大空军采购“超级大黄蜂”处处掣肘。

为了升级航空装备，加拿大果断将视线转移到澳空军退役的八成新“大黄蜂”战机。这批“大黄蜂”战机日常训练和使用强度不高，采购单价仅是全新战机的几分之一。此外，这些战机的构造和加拿大空军现役的CF-18战机极为相似，买来就可以上手，能够节省大量的培训和改装费用。

于是，澳加双方一拍即合，促成了这次“双赢”合作。

有不少国家质疑加拿大空军的选择，但加拿大空军认为，二手“大黄蜂”战机不仅售价合理，而且各方面性能良好，最重要的是它可以与CF-18战机完美兼容，可以满足空中作战需要。

「陈年老机」为何成为「香饽饽」

加拿大决定购买澳大利亚空军退役的「大黄蜂」战机

■赵镜然 石峰 左超超

尽管此次澳空军退役的“大黄蜂”服役时间均超过30年，存在一定程度的设备老化问题，但这些战机采用了开放式航电架构、数据总线设计、玻璃化座舱和大推力涡扇发动机。总体来说，“大黄蜂”空中作战能力要比二代机、三代机更加出色。

因此，加拿大空军相信，只要完成对机体结构部件延寿、航电和飞行控制系统升级、发动机改进等一系列工作后，二手“大黄蜂”依然能够焕发新春。

下图：澳空军F/A-18“大黄蜂”战机。
资料照片



对芬兰军工史上第一款反坦克炮来说，“春天” 是那样的短暂——

生不逢时的75K/44反坦克炮

■李双吉 刘 强

军工档案

布局，在炮轴中央开一个大洞，使炮管和炮轮中心位置同高，将反坦克炮高度降低一半。

随后，这款新型反坦克炮被命名为75K/44反坦克炮。该型反坦克炮一经问世，就以独特造型和强大火力引起世人关注。然而，在后续火炮测试环节，这一设计也暴露出一些问题——重心大低，需要至少4匹马同时拖拽，且悬挂离地间隙小，容易被卡在起伏不平的泥地里；为保证视野开阔，唐纳鲁在炮盾左侧设计了一个远高于炮盾的光学瞄准设备，但瞄准线和弹道差距大大，一定程度上影响了瞄准精度。

芬兰军方开始对75K/44反坦克炮进行改进升级，并声称5个月后就实现量产。可惜的是，短短2个月后，芬兰宣布投降，75K/44反坦克炮后续改进升级计划被迫中止。

1950年，芬兰军方曾决定重启75K/44反坦克炮改进计划。然而时过境迁，这款闪耀着设计师思想“灵光”的兵器，最终被移交到芬兰博物馆，作为二战时期芬兰自主研发的一款标志性武器被永久收藏。

火力问题解决了，唐纳鲁又开始思考如何提升反坦克炮的防护能力。当时，大多数火炮设计师采用的是炮管周围安装炮盾，对火炮软肋部位进行防御，而唐纳鲁持不同看法。“设计一款矮小的火炮，可以减少被敌军发现和命中的概率。”他决定摒弃传统炮管和炮架