

晨光微露，美国卢克空军基地机场上，第25批最后一架F-16“蝮蛇”战机发动引擎，迎来了余生最后一次起飞。

这次飞行的目的地不是平日训练的大峡谷，也不是大洋彼岸的海外基地，而是世界最大的退役战机停放地——戴维斯蒙森空军基地。

近年来，这里停放了上千架退役战机。从天空

俯瞰，戴维斯蒙森空军基地被人们形象地称为“飞机坟场”。

据统计，2021年美国空军共退役120架战机，除了一部分飞赴“飞机坟场”外，还有很多退役战机开启新的征途，利用最后价值贡献余热。有网友会问，这些战机都去哪儿了？又将迎来怎样结局？本期，我们为您详细解读。

退役战机去向何方

■姜子吟 王文辉 赵镜然

轰炸机XB-70、驼峰航线上屡建战功的C-47运输机……无论是从研制背景、性能指标还是历史意义来看，拥有一份完美“简历”的退役战机，才会被送到博物馆展示。

然而，还有一些属于过渡品甚至是失败品的飞机，同样也记录着人类向着蓝天飞翔的尝试与梦想，被博物馆收藏。1969年，英法两国联合研制的人类历史上第一架用于商业飞行的超声速飞机——“协和”号首飞成功。“超声速”的噱头，让“协和”号飞机很快打开国际市场，收到来自世界各国70多架飞机的订单。

20世纪70年代，受经济危机等多重因素影响，“协和”号飞机订单纷纷流产。2000年的一场空难，更是暴露出“协和”号飞机的诸多安全问题，导致其永久停飞。如今，“协和”号飞机被收入英、法、美等多国博物馆，成为众多游客的“打卡地”。

此外，搭载四叶同轴反转螺旋桨的英国“塘鹅”式战机、“连体”战机F-82“双野马”、世界上第一款隐身战机F-117“夜鹰”等一大批风格独特的退役战机，纷纷被战机“星探”选中，成为博物馆里的“明星”，吸引着络绎不绝的各国参观者，品读它们的故事，感受军工制造的独有魅力。

去向二：拆解零部件再利用 变废为宝，重获新生

随着航空工业快速发展，退役战机数量逐年上升。最大程度利用其零部件的剩余价值，大幅降低战机在维护和升级中的运营成本，成为一种新的商业手段。

二战后，美军将大量军用运输机改装为民用客机；英国则将退役战机“大卸八块”，其中有零件对外出售，或者装配到现役战机上。

据统计，一架飞机大约90%的零部件或材料能被回收再利用。除了发动机、武器系统、弹射装置等部件会被拆解保存，航空仪表盘、紧急滑梯、机轮、刹车系统、起落架和航电设备，经过检验符合技术要求后，往往可以重新进入二手飞机市场。例如，德国空军在淘汰一批C-160军用运输机后，将其拆解运走回收。

美国现有不少“飞机坟场”停放大量老式战机。位于美国亚利桑那州图森市的戴维斯蒙森空军基地，是世界上面积最大的退役飞机停放场，大约存放有6000余架退役飞机，比较有名的有A-10、F-14、F-15和F-111战机等。

部署于基地内的航空航天维护再生中心，专门负责美国空军和海军的航空装备封存、回收和再利用工作。据统计，戴维斯蒙森空军基地一年可重复利用20000多个零部件。

退役战机的零部件搬上拍卖场，常常获得较为可观的经济效益。2020年，匈牙利军方决定，将包括19架米格-29战机的20台发动机和293个零部件进行拍卖，起拍价为1000万美元。同年，日本成功拍卖退役战机上拆解的成套飞行员头盔和氧气面罩及背包，一套价格约为66万日元。

然而，对报废战机进行重新利用并非易事。拆解机体需要耗费大量的人力和物力，为防止机体生锈或腐蚀对环境造成污染，战机碎片必须进行特殊技术处理。对一些挂载过核武器或参加过核

试验的战机，还要进行严格的环境监测和整机洗消工作。

去向三：翻新后进入二手市场 物美价廉，军贸新宠

战机退役后，一些国家并没有给其贴上“不可用”的标签，而是让退役战机在军贸舞台上再“火”一把。

米格-21战机是最好例子。俄罗斯曾退役数百架米格-21战机，并将这些战机停放在莫斯科郊外的“飞机坟场”。这些战机并没有被拆解，而是翻新后进行出售。

翻新后的米格-21战机单架为200万美元，不少国家竞相购买。毕竟在军事实力较弱的国家面前，尽管是翻新战机，战斗力也不容小觑。

竞争激烈的全球军贸市场上，退役战机为何还能“吃香”？

退役战机既能保证战斗力，又能节省经费，可谓一举两得。以苏-25、“幻影”III/V为代表的大国空军“淘汰品”，虽然性能不尽如人意，但完全可以胜任中小国家的国土防空任务需要。

此外，将退役飞机改装为靶机或其他无人作战飞机也是国外军工企业的常见做法。美国通用公司先后将退役的F-4、F-16战机改装成QF-4、QF-16靶机；俄罗斯军方也将冷战时期生产的上千架米格-15和米格-21战机改装成无人靶机，用于战术试验和飞行员训练。

现代靶机作为一种消耗性装备，不仅要物美还要价廉。俄罗斯将退役的米格-23M战机改装成M-23靶机后，新型涂装技术让靶机的目视截获距离更加符合实战。俄军称，该机可以模拟任何一种现役第三代和第四代战机，最大限度降低训练成本。

随着科技进步，各军事强国纷纷对本国战机进行更新换代，不少老战机选择退役。因此，在未来相当长的时间里，退役战机将保持较高的市场份额。

值得关注的是，退役战机买起来便宜、用起来贵，后期维修保养将耗费一大笔经费开支。服役后，这些战机的备件越来越难获取，维护使用成本必然会节节攀升。

因此，加拿大军方决定购买二手F-18“大黄蜂”战机时，遭到加拿大国内民众的强烈反对。千里迢迢到达冰雪寒区的F-18“大黄蜂”战机，迎接它的却是一片质疑声：“18架生锈的旧战机”“浪费纳税人的钱”“浪费加军资源”……

作为军工制造大国，美国也是“海淘”市场的常客。2021年，英国皇家空军退役了最后一架E-3D预警机。有媒体称，美国海军以1500万美元从英国手中购买了一架E-3D预警机，这架战机经过改装将成为E-6B的教练机。

纵观全球军贸市场，“海淘”二手战机已成为一些国家军购的重要渠道之一，未来将会占据越来越大的比例。这其中，既有本国战机更新换代的需要，也有军费支出的精打细算，无论何种原因都是立足本国国情、多方考量后作出的决定。

下图：美国戴维斯蒙森空军基地停放的退役战机。

资料照片

英国皇家空军T-2教练机故障频发，飞行员培训深受影响——

“雏鹰”迟迟难起飞

■吴玉国 齐呈荣 高昇宸



2月2日，有媒体报道，英国皇家空军T-2教练机队已恢复使用。虽然已经复飞，但并非意味T-2教练机状态良好。该型教练机的制造商美国洛马公司表示，发动机问题可能在未来3年依然存在。

这些年，T-2教练机发生各种事故的新闻层出不穷。那么，为何英国皇家空军急于提前复飞T-2教练机呢？

2022年3月底，英国皇家空军服役25年的T-1教练机退役。这意味着，T-2拿到“接力棒”，成为新型主力教练机。目前，英国皇家空军只有28架完好的T-2教练机用于飞行员培

训，教练机严重匮乏，使得英国皇家空军本不完善的飞行员培训机制出现新的缺口。

自20世纪90年代至今，英国皇家空军先后多次调整飞行员培训机制。直到2011年退役百余名飞行员后，“裁员”风波愈演愈烈，飞行员缺编300余人。

2022年5月，一份英国皇家空军内部文件更是剑指“飞行员培训机制”问题。文件表明，由于训练阶段存在延误，参加英国皇家空军飞机操控训练的596人中，有347名学员

还未完成训练课程，整体培训周期过长、阶段培训衔接不合理等问题

暴露无遗。

英国国防部另一份文件则指出，英国皇家空军飞行员培训严重滞后后，很可能出现人才断层现象。据统计，近年来英国皇家空军飞行员平均培训周期长达7年，而英国国防部建议飞行员最佳培训周期不超过4年。显然，周期过长会导致飞行员培训成本进一步提高。此外，阶段培养衔接问题也让英军头疼不已，不少飞行员无法在规定时间内完成全部课程，被迫延长培训时间。

在装备问题和培训体系之外，还有一些客观因素导致英国皇家空军飞行员缺乏。一方面，由于国防经费下调，英国皇家空军很多训练设备推迟开发与使用，学员不得不缺失部分飞行训练。另一方面，英国皇家空军成熟的现役飞行教员，除带教学员外，还要执行训练任务，超量的工作负荷导致不少飞行员“跳槽”到民用航空领域。雪上加霜的是，随着一些经验丰富的飞行员达龄退役，当前能够独立执行任务的飞行教员数量越来越少。

未来，英国皇家空军还将接收22架F-35战机。届时，飞行员数量能否满足战备需要还得打上一个问号。

左上图：英国皇家空军T-2教练机。

资料照片

★ 军工世界观

水密隔舱——

水上飞机的特殊构造

■刘含钰 王畅

★ 军工科普

水上飞机是飞机大家族中的特殊一员。看机翼，它是一架飞机；看机腹，它又似一条船。入水似鲲鹏，上天为鹏。水上飞机有何特殊本领，航空设计师又是如何实现这些功能的？

水上飞机具备漂浮能力，才不会下沉并保持合适的漂浮姿态。为此，设计师将飞机机身下部设计成船体结构，机体蒙皮做成水密设计，实现水上漂浮。

如果飞机长时间水上漂浮，仅靠蒙皮是不可能做到完全水密的。缓慢的渗水达到一定量时，需要进行排水。因此，飞机的机体上还设计了排水口，用于排出渗入机体内部的水。

当飞机着水意外撞击异物时，机体结构可能会出现破损，这时候水会渗入机体内部，影响到飞机的漂浮能

力。为了应对这种特情，设计师在机体内部设计水密隔舱结构，它与中国福船技术非常相似。

福船，是我国古代航行于“海上丝绸之路”的木质帆船。北宋徐兢出使高丽、明朝郑和下西洋都是乘坐福船。水密隔舱结构是福船最有特色的设计，该结构将船体内部空间以隔板分隔成若干个“小房间”，彼此独立且互不渗水。

水上飞机也采用了类似结构——每个单独的隔舱均由隔板、机体壳板和机舱地板组成。当机体局部破损时，破损的水密隔舱渗水不再为飞机提供浮力，但其他独立的水密隔舱依然可以提供浮力，确保飞机不会下沉。同时，设计师还进行大量的计算与论证，分析不同组合任意相连两舱破损后，机体的浮力依然能够提供足够大的正稳定裕度，使飞机倾覆的概率减至最小。

与大型水上飞机不同，小型水上飞机采用双浮筒布局设计——机身下方安装两个浮筒，在水面起降时，



浮筒承担支撑飞机作用。为保证水上起降安全，浮筒需要采用分舱设计，保证浮筒任何两个隔舱破损时，飞机仍具有漂浮在水面上而不倾覆的能力。

实际使用时，设计师除了对浮筒进行水密设计外，还在其隔舱内部填充疏水材料。一旦浮筒破损，破损的舱室仍然有能力提供浮力，提升飞机漂浮能力。

上图：消防型水上飞机灭火过程。

资料照片

旋压技术——

源于陶艺的金属赋形

■曾建伟 徐梓淇

飞速转动的拉坯机上，一团黏土在陶艺工人反复打磨下，逐渐形成一件精美的陶瓷品。在工业制造领域，工匠可以用旋压机将一块普通的金属板压制成重要部件。

这种类似于陶艺的金属加工方法，行业内称为旋压成形技术，是一种板压成形技术。不同于焊接的“拼接”、铸造的“凝固”，旋压成形技术主要利用旋压机使坯料发生形变。

在科普旋压成形技术前，我们先来讲讲旋压机。旋压机由两部分构成，如同人的双手。加工时，“左手”使坯料发生旋转，“右手”对坯料进行施压，在“双手”的默契配合下，才能得到想要的部件。

旋压成形技术诞生之初，工人们利用棍棒等工具对坯料进行施压，之后又借助水力、蒸汽动力驱动旋压机设备。很长一段时间，这种技术并未命名。直到18世纪60年代末，德国一名科学家申请了世界上第一个金属旋压技术专利，该技术才有了专属

名称。如今，不断更新的旋压成形技术已成为高精尖领域不可或缺的加工工艺。汽车制造领域，该技术在轮毂制造方面得到广泛应用；航空制造领域，战机副油箱、进气道、滑轨等部件均由该技术制造而成；航天领域，火箭壳体、航空发动机喷口加工也与该技术息息相关。

旋压成形技术如此重要，必然有其独特优势，我们归纳为以下三点：

一是强度大。旋压成形属于整体成形技术，加工出的零部件没有母线焊缝，保持了坯料的完整性。有关数据显示，旋压成形后材料的强度和硬度比母材提高30%以上。

二是成本低。旋压成形技术无需对坯料进行切削加工，材料利用率高；对成形模具与加工设备要求简单，可大幅降低生产成本。

三是空间利用率高。与同等强度的零部件对比，旋压成形后的零部件体积小、重量轻，可以节省更多空间。此外，该技术还能检验出坯料冶炼过



程中存在的一些缺陷。

近年来，旋压成形技术发展呈现出“百花齐放”的局面，有的国家将传感技术、高精度数控技术等引入旋压成形领域；有的国家则试图打造具有自主知识产权的“AI旋压”。放眼未来，旋压成形技术在军工领域应用前景广阔，其发展应用关系到武器装备制造的质量。

上图：金属旋压成形。

资料照片

★ 军工T型台

去向一：送进航空博物馆展示 发挥余热，投身科普

1940年，数百架英国“喷火”战机在英吉利海峡上空列队迎战纳粹德国空军，激战100多天彻底粉碎了其空中入侵计划；1943年，美国F-6F“地狱猫”战机击落第一架日本零式战机，太平洋的制空权逐渐回到盟军手中。

二战结束后，“喷火”战机很快被新式喷气式战机取代，“地狱猫”战机也在超声速时代来临前走向“生命终点”。这些曾经叱咤风云的“明星”战机虽然已经退役，但身上“光环”不减，被博物馆争相收藏。

走进美国空军国家博物馆，各种型号“古董”战机呈现在观众面前。从展台前的介绍牌上，观众们能深入了解战机背后的历史——一战时击落敌机最多的英国“骆驼”战机、创下3马赫飞行速度纪录的高空高速战略

