

让美军始料未及的是，F-35战机会因维修不力造成大面积“趴窝”——前不久，有媒体报道，因发动机磨损过快、维护时间长等问题，46架F-35战机被迫停飞。有专家分析，此次暂停飞行任务将影响到美国空军的全球部署计划。

事实上，能否快速有效地对战机进行大维修，直接

关系到空军战斗力生成。近年来，随着各国空军飞行演训任务强度难度增加，对战机维修保养提出更高要求。

那么，定期对战机“健康”有何好处？不同类型战机，需要多久时间才进行大修？战机被送往大修厂后，又要经过哪些方面的维修和保养呢？本期，请看空军某航修厂高级工程师徐承强的专业解读。

战机大修学问多

■宋茹



战机也是如此，需要定期进厂维修和保养。一架战机服役期间会经历多次大修，以美军F-16战机为例，首次大修时间为飞行1000个小时，随后依次为800个小时、700个小时，每当到了规定飞行时间，战机就需要进厂大修。

定期进行全身体检

大修，相当于给战机“看病”，既要把握已知“病症”治好，还要找出潜在“疾病”。大修厂常常被称作“战机医院”，战机飞行到一定时间后，要在大修厂进行一次全身体检。

全身体检是一个复杂过程。随着航空技术快速发展，飞机制造更像是“多胞胎式”批量生产。战机列装部队后，所处环境、执行任务不同，各自发生的故障问题也不同。

这就需要“对症下药”。战机大修需要耗费较长时间，越是性能先进的战机，大修时间越长，需要的专业技术人员也越多。

现代战机采用了大量的新技术和新工艺，涉及机电、结构、液压和航电等专业，机身结构异常复杂，由数万颗铆钉、桁条、大面积蒙皮以及难以计数的零部件组成。工艺要求高、专业技术性强，客观上给大修带来不少挑战。

一般来讲，战机大修需要经过以下三步：

第一步是故障检测。战机在送到“手术台”前，修理人员会对照战机以往的“病例”记录，了解这架战机的大修次数、规定寿命、发生过的故障和事故等情况，并查看战机的“身体”状况是否与“病例”相符。

初步检查后，修理人员会按照操作要求，拆下发动机，对机体和内部零部件进行分解、褪漆，整个过程堪比回炉重造。

第二步是针对性修理。经过分解

后，战机的机体和内部零部件将被送到结构、航电、机械等相关“科室”，进行细致检查。修理人员将对发现的“病灶”进行有针对性的“治疗”。不同寿命的战机，检查项目、修理深度也不尽相同。

流程看似简单，但在修理过程中，涉及电子、燃油、飞控等多个系统，修理人员往往需要完成几百项零部件产品、1000余根导管、20000余根导线的检查和修复。这一过程是战机大修的核心阶段。

第三步是总装调试。经过各个“科室”的“诊断治疗”后，“健康”的部件将汇聚到一起，按工艺要求组装复原。

随后，操作人员还会对系统和设备进行调试，确保各个系统和零部件互联互通，并为其穿上一件崭新的“外衣”。

此外，完成大修的战机还将进行地面检查、多轮试飞。如果各项性能指标都能达到规定要求，那么这架战机便可以顺利“出院”，交付部队。

战机延寿有讲究

现代战机性能越来越先进，造价也随之“水涨船高”。数据显示，现代战机造价动辄千万美元，五代机甚至高达数亿美元。一架性能完好的战机，在达到规定寿命后就宣布退役，无疑是一种浪费。

为了节约生产成本，战机达到规定寿命后，往往会选择超期服役。如美军为F-15战机延寿，就是一种经济又实用的做法。

战机延寿是一项系统性工程。一架战机能否延寿，需要设计、制造等多个部门进行详细测试和科学论证。必要时，还需要制订“维修大纲”“保障细则”“实施计划”等，一切准备就绪后才能进入实施阶段。

当一架战机进行延寿时，大修厂必

然会特殊照顾。根据延寿战机的实际情况，大修厂会增加检查科目、扩大维修范围、加大修理深度。

维修人员会对机身电缆、油箱和导管等容易老化的部件进行全面检修和换新，必要时还要对机载设备进行升级。

其中，最关键的环节就是对机体结构的检修和加固。机体结构相当于战机的“骨骼”。战机常处于高速度、高过载的飞行状态，时间久了，机身容易产生金属疲劳，进入“老龄”阶段，“骨骼”会变得脆弱，产生各种裂纹，对飞行安全造成极大威胁。

如何对战机“骨骼”进行检修和加固呢？

以国外某型战机大修延寿为例，修理人员会对整个机身结构进行“伤势检查”。对于“高龄”战机，检测项目往往是新机型的数倍，确保每处细小“骨裂”都能被排查出来。

仅靠修复裂纹还不够，一些经常受力的“关节”需要格外关注。维修人员要制作特殊的角盒，对这些承压点进行加固。这是一种类似打补丁的方式，对容易产生裂纹的位置进行预防式加厚，补丁的形状也会根据加厚部位进行定制。

此外，维修人员会综合评估承压力的结构情况，进行一系列强度计算，明确加固的位置、角度和使用材料等，经过锻造、热处理、3D打印等工艺制造后，一个完整可靠的补丁就能完美贴合在机体结构上。

经过一系列翻新和加固后，这些“高龄机”又可以焕发新生机。近年来，战机延寿受到各国军队关注，战机健康状态的监测手段日益丰富。随着新技术和新工艺的投入使用，战机保养手段越来越先进，保养效果也将越来越可靠。

上图：俄罗斯战机修理厂工人们正在检修米格-31战机。

资料照片



夕阳余晖为海面涂上一层金色。下班后，邓亚龙骑着单车一路飞驰。汗水滑过脸颊，他享受着海风拂面的惬意。

两年前，邓亚龙身体状况不太好，住过一次院。妻子反复念叨：“身体是革命的本钱，再忙也要抽空锻炼一下。”

没过几天，邓亚龙买了一辆自行车。从家到工厂20多公里路程，骑行一个半小时，邓亚龙喜欢这种感觉——完全放空自己。

头戴安全头盔、身着运动装、戴上防风眼镜……从这身炫酷的头头看，邓亚龙不像搞技术的，活脱脱的是位“潮男”。

这位“潮男”是总工——在他10多年军生涯中，邓亚龙从技术员干到技术研发科科长，一路成长为海军某厂总工程师。

有人问邓亚龙，不到40岁就能当上总工程师，靠的是什么？

“做任何事，贵在坚持。”邓亚龙说，干科研如同骑行，一路上总会遇到沟沟坎坎，只有越过每道沟坎，才能顺利抵达终点。

这位“潮男”是“学霸”——读大学期间，成绩优异的他经常获得学校奖学金。毕业后，本可以到高新企业就职，他却毅然选择成为一名军工人。

刚进厂时，面对各种各样的设备，邓亚龙难掩兴奋：“这里是我发挥才能的天地。”第一个月，跟着师傅学理论、练操作，邓亚龙脑子里冒出一个想法：“这套流程能不能简化一些？如果把计算机技术与维修联系起来，会不会有所突破？”

邓亚龙的求知欲像设备的蒸汽一样遇热膨胀。那段时间，他利用休息时间自学了绘图制图、计算机编程和设计工装研制方法。工厂办公楼有一间办公室，灯总能亮到下半夜——那是邓亚龙如饥似渴地吮吸着知识的琼浆。

没过多久，邓亚龙研发出计算机接口板的全新检测技术，有效解决了装备故障诊断难题。这门技术一直沿用至今。

“学习过程如同化茧成蝶，最终会蜕变成更好的模样。”邓亚龙的成长进步有目共睹——在某型新装备首次维修过程中，新问题让不少老师傅束手无策，他自学新技术成功解决难题，这一仗让他一战成名。

从那时起，邓亚龙多了一个习惯：修理工作之余，收集部队官兵用装难题，学习国内外先进技术，创新装备维修保障方法。

知识厚度决定能力指数。一次次跨学科学习、一次次创新实践，让邓亚龙积累了丰富的专业知识，能力得到快速提升。

有一年，某新型装备在海军部队首次列装，这套装备技术先进、集成化程度高，相比老装备更加智能高效。看到新装备，邓亚龙先是欣喜，随后陷入沉思：“新装备列装后，工厂保障能力能否跟得上？”

下象棋，高手总要往后多想几

「每天进步一点，梦想就会照进现实」

海军某厂总工程师邓亚龙

■雷彬张晶

步。“虽然装备没有出现问题，但万一发生故障，我们能否快速解决？作为军工人，眼光要放得长远些。”邓亚龙当即决定：尽快开展保障系统研制。

不同于修理，干科研既要熟悉装备结构和工作原理，还要熟练运用各种软硬件技术。为此，邓亚龙查阅大量资料，广泛学习相关理论知识；缺乏检测设备，他就与团队一起设计制造；没有技术文件，他就自己动手编写……

经过两年多的奋战，邓亚龙带领团队成功研制出全新联调保障系统，并获得军队科技进步奖二等奖。

邓亚龙的办公室书柜里，摆满了各种奖牌和荣誉证书。有年轻工友问他成功的秘诀是什么？他笑着说：“每天进步一点，梦想就会照进现实。”

★ 大国工匠

被“掰弯”的机翼

■杨杨

征服天空，是人类自古以来的梦想。谈到飞机发展历程，不得不提及一项创新成果——襟翼。这是机翼边缘的一种翼面可动装置，可以提高飞行升力，其外形像衣襟，故得名“襟翼”。

早期，飞机是没有襟翼的。每次起飞时，飞机要滑行很长一段距离，才能获得足够升力。

1908年，法国飞机设计师法莫提出襟翼的概念，并制作出实物。他将机翼后缘设计成可转动的小翼面，以此达到“掰弯”机翼的效果。别看这小小的翼面，极大提升了飞行动力。

当时，飞机问世不久，科学家对襟翼没有实质性的研究，了解的只是皮毛。一战爆发后，飞机受到各欧洲强国的重视，但襟翼设计始终未能跳出弯曲机翼的思维怪圈，飞机性能没有太大改进。

没想到的是，一战结束后，襟翼在德军一家医院迎来新生。有一天，德国飞行员拉赫曼躺在病床上养伤，他仰望着天花板，思维开始跳跃。突然，他的脑海里迸发出一个创新灵感：为

什么不能在襟翼前缘设计出一个缝隙呢？

反复论证后，他发现，如果在襟翼前缘打开一个缝隙，流向上缘的气流会形成更大气压，使飞行升力增加到60%以上。

虽然拉赫曼设计出了开缝襟翼，但他缺乏专业理论基础，即使获得专利也无法解释其中原理。

气流“逃离”机翼最快的方式，就是脱离表面径直向上。当襟翼被打开一个口子，流向机翼上表面的气流量会增加，使部分气流重新回到上表面。

1924年，富勒襟翼诞生。这种后缘襟翼增加了机翼面积和弯度。经测试，与传统襟翼相比，富勒襟翼的升力系数可提升110%至140%。之后，科学家又发明了前缘襟翼和克鲁格襟翼，这两种襟翼成功解决了富勒襟翼局部气流分离的问题。

★ 军工档案

军工科普

战机三分“开”七分“养”

“战机出了故障怎么办？”
“当然是送到大修厂啦！”

这是人们对战机大修的初步认识。事实上，大修并不是等战机出了故障才去修理。通常来讲，战机到了一定“年龄”，就要进行大修，确保飞行安全。

俗话说，三分“开”七分“养”。就像汽车要定期更换机油、滤芯，养护得好，才能用得久。战机也是如此，如果维修保养跟不上，必然会频频出现故障。

一架战机步入“老龄”，会出现各种问题。如果不定期体检、及时治疗，“小病”就会拖成“大病”。战机“带病飞行”安全隐患大，故障随时可能发生，严重时甚至会造成飞行事故。

值得关注的是，自然界隐藏着很多“无形杀手”，直接威胁着战机飞行安全。比如，水汽、烟尘、雾霾等极易腐蚀机身。研究表明，一架未加防护的战机，如果暴露在高温、高湿、高盐雾的环境中，8天后机身会出现点状腐蚀凹坑；2年后表面会出现分层剥离现象，裂纹风险陡增。

这时候，机身会变得极易断裂。如果不加以处理，这些“伤痕”就可能成为飞行事故的“元凶”。

我们知道，汽车可以随时停车，船舶可以就地抛锚，而战机飞行中出现故障，后果不堪设想。因此，当一架战机达到规定寿命时，就要被送到大修厂维修保养。

很多人会问：什么是规定寿命？一架战机的规定寿命又是多少呢？

通常来讲，现代战机规定寿命的计算方法通常有两种：日历寿命和飞行寿命。

所谓日历寿命，是指战机从出厂之日起算，到了一定年限强制退役；飞行寿命是用战机飞行时间计算，也就是通常所说的飞行小时，类似于汽车的行驶里程。

不同战机，日历寿命和飞行寿命也不尽相同，一架战机的日历寿命和飞行寿命与其设计思路、使用材料、制造工艺等诸多因素有着密切关系。

现代战机的日历寿命通常为30年，能够飞行6000多个小时。一架战机从出厂起算，如果使用时间达到30年或者飞行时间达到6000个小时，就可以宣布退役。

影响战机寿命的因素有很多。随着新技术和新工艺的投入使用，战机飞行寿命不断提升，如美军F-22战机飞行寿命可达8000个小时。对日历寿命而言，战机超期服役的情况也屡屡发生，如俄军图-95轰炸机，日历寿命超过60年。

那么，战机大修的依据是什么呢？众所周知，汽车做保养，既要计算出厂时间，又要计算行驶公里数，当有一项数据达标，就要送到汽车4S店保养。

集智攻关

提起虚拟现实技术，大家并不陌生。电影《头号玩家》里，主人公戴上VR眼镜走进虚拟世界“打怪升级”，让观众大开眼界。

上个月，海军航空大学某团信息技术中心将电影里的科幻情节变成现实。他们成功研制出维修保障虚拟现实训练系统，机务官兵戴上“头盔”，拿起操作杆，足不出户就能进行模拟维修训练。

在该中心训练室，笔者亲身体验了这套系统的训练效果。戴上科技感十足的“头盔”，一架军用运输机映入眼帘，笔者根据操作界面指引，从拆卸安装机轮到部件检查，依照提示信息和外场操作规范进行模拟操作训练。

该项目负责人、信息技术中心主任宋海方告诉记者，这套系统设置了“新

像玩游戏一样“修飞机”

■刘兵 刘任丰 汤伟

手小白”“维修达人”“保障尖兵”“资深技师”4个难度等级，不仅帮助新兵快速入门，还能助力老兵练强本领。

宋海方最初的研发灵感源于一次到空军某部的见习经历。第一次接触虚拟现实飞行训练系统，战机在虚拟战场穿云破雾的场景让他记忆深刻。

“能不能将这项技术运用到机务训练中？”宋海方萌发了研发维修保障虚拟现实训练系统的想法。

与飞行训练相比，机务训练对装备真实度要求更高，因此需要录入飞机的每个零部件信息，有人将这一过程形象地称为“在虚拟空间组装一架飞机”。

说干就干。历时半年艰苦攻关，某型运输机维修保障虚拟现实训练系统问世。第一代系统只有理论学习、模拟操作等少数训练科目，有的官兵反映这种训练模式枯燥乏味，“不适合年轻人，过时了”。

如何激发90后官兵的兴趣？休息时间，几名90后官兵联机打游戏的场景，激发了宋海方的灵感。“能不能把这套系统做成电子游戏？”带着这样的想法，宋海方与团队成员一起调试程序、优化代码、更新界面，在该系统里成功设置了起落架等构件3D动画拆装功能，不仅提升了官兵体验感，还实现了

训练平台“学、考、评”一体化。

“与其说是训练系统，更像是一款机务维修游戏。”初次体验后，机械员魏宇航作出评价。作为该系统第一批“用户”，前不久魏宇航从训练室通过模拟训练取得上岗资格证，放飞了第一架战鹰。

“研制维修保障虚拟现实训练系统只是一个起点，将来我们还要研制更多官兵想用、好用的系统，释放科技创新的强大动能。”宋海方介绍说，最近他们研制的机务云系统正处于测试阶段，将来可以实现维修资料一键检索。