舰载战斗机着舰有“刀尖上的舞蹈”之称。在战场需求的牵引下，舰载机类型进一步拓展，出现了舰载预警机、舰载电子战飞机、舰载侦察机、舰载反潜飞机等。

如此多类型舰载机的出现，不仅使舰载机体系化训练渐趋复杂，其执行完任务“回巢”时的着舰难度也在加大。搭载平台空间有限、姿态不稳，训练或实战中飞行员体能消耗很大、操控动作不精准，随时可能出现不良海况或恶劣天候等，使得舰载机的“回收”难上加难。

于是，着舰引导系统逐渐成为现代航母的“标配”，并在发挥着越来越重要的作用。从某种程度上说，着舰引导系统的效率直接影响着舰载机战队的作战效能，这也使得舰载机着舰引导系统从诞生之日起，其功用与性能就在不断优化升级。

虽然其他大型海上移动平台也能起降战机，但总体来说，航母所用着舰引导系统的发展更为典型。那么，航母上的着舰引导系统经过了哪些发展过程呢？请看解读。

舰载机着舰引导系统

让“刀尖上的舞蹈”收放自如

■张 明 赵 楠 张国强

兵器知识

在归航的战机上，行驶在浩淼海洋中的航母在飞行员眼中是什么样子？最多的答案是——“像一片树叶”。

如果曾经在风高浪急、波涛汹涌的情况下驾战机着过舰，飞行员的回答会更加形象生动：“从空中俯瞰，航母就像被波浪推搡、被风雨吹打的一片不停晃动的树叶。”

海上无风三尺浪。驾驶着舰载战斗机的飞行员，要在这样的环境中，以较高速度从空中抵近，降落在这片晃动着的“树叶”上，其难度可想而知。

要做到这一点，一方面，严格的高强度训练不可或缺。另一方面，来自航母上的指挥引导同样重要。这种引导，既包括着舰指挥员语音或姿态动作的提醒提示，也包括一些专业设施与装备的辅助。舰载机着舰引导系统起初就是专门为此而生。

近一个世纪以来，随着战场需求的演变与技术的发展，航母一直在发展。与之相适应，舰载机从螺旋桨推进拓展到喷气发动机推进。除有人驾驶舰载机外，近年来各国推动无人机上舰的工作也紧锣密鼓。

这些发展与变化，同样体现在着舰引导系统的发展上。从人工引导到辅助舰载机全自动着舰，各项技术从简单到复杂，从青涩到成熟，装备设施也从“各自为战”到“攥指成拳”渐成体系。这一过程中，人们也越来越清楚地认识到，打造一套高效、“过硬”的着舰引导系统，是一艘航母乃至一个航母编队形成强大战力的前提之一。

综观这一过程，一些新技术的应用与新装备的列装至关重要。可以说，着舰引导系统发展的历程，就是应用新技术与新装备的过程。正因有新技术新装备的不断“试水”与成熟，才让舰载机着舰这种“刀尖上的舞蹈”不断趋于收放自如。

大体上说，航母着舰引导系统的发展经历了以下四个阶段。

人工着舰引导阶段。20世纪50年代前，航母搭载的多为螺旋桨舰载机。由于当时的舰载机飞行速度慢，在舰载机着舰的最后阶段，才需要着舰指挥员来引导。这种引导大多为人工引导。起初，着舰指挥员通过做一定手势来发出相应信号。后来，为了使所发出的信号更加直观和明显，着舰指挥员开始手持彩色信号拍或信号牌进行引导。夜间着舰，则通过着舰指挥员手拿霓虹灯管来引导。

早期的人工着舰引导，尚未引入无线电通信设备，主要靠飞行员和引导员的经验来完成。由于海上气象多变，这种引导在成功率上有很大不确定性。据相关机构统计，二战中，舰载机平均每50次降落就会发生1次事故。这主要是因为，靠人工引导，飞行员无法确保及时看到着舰指挥员提供的偏差修正信号。另一个原因，则是当时的舰载机多采用后三点式起落架设计，造成飞机着舰挂索后方向保持性差，容易出现侧滑或偏航，甚至会发生侧翻或撞到其他停放在航母上的飞机。

半自动着舰引导阶段。20世纪50年代后，喷气式舰载机兴起。由于喷气式舰载机飞行速度快，飞行员在着舰过程中的观察、分析、判断时间大幅压缩，很大程度上增加了着舰的危险性。为适应这种变化，这一阶段，光学助降设备和雷达助降设备出现。光学助降设备中比较典型的是菲涅尔透镜。通过在航母上科学设置一排排红绿灯，它就能在空中形成一个由多个光层组成的下滑坡面，沿指定的光层驾机下滑，即可基本确保舰载机在着舰前处于正确的下滑航道内。

雷达助降设备由机载和舰载设备组成。舰载雷达能测量飞机的实际位置与运动参数，结合航母运动参数，运算得出飞机下滑时应飞的航路。通过对应飞航路和实飞轨迹进行对比，雷达助降设备还能够为舰载机着舰提供偏差信息，以便舰载机及时调整，修正偏差。

光学助降设备的研制成功和投入使用，使这一阶段航母上的着舰事故率由二战时的2%下降到0.5%左右。这一阶段，航母斜角甲板出现，为着舰失误飞机增加了复飞机会，又使事故率下降到0.1%以下。

雷达助降设备的研制使用，有效解决了舰载机着舰时的偏航与精度修正问题，使着舰事故率进一步降低。因此，尽管航速较高的喷气式飞机着舰风险性增大，但这一时期的舰载机着舰事故率并未提高，反而有所降低。当然，这其中也有喷气式舰载机开始采用前三点式起落架设计的原因。

全自动着舰引导阶段。20世纪80年代初，随着雷达和计算机技术进一步提升，一批新的着舰引导雷达研制成功并在航母上投入使用，标志着全自动着舰引导时代的到来。这一时期的着舰引导系统体系更加完备，包括一系列雷达系统如仪表着舰雷达系统、空中交通管制雷达系统、精密进场控制雷达系统等，以及空中战术导航系统、仪表载波着陆系统、数据链、改进型光学助降系统等。各种设备相辅相成、互为备份，所获数据通过综合处理，共同为飞机着舰提供依据。

全自动着舰引导系统的投入使用，理论上使舰载机可以在海况复杂、能见度低的气象条件下降落。这主要是因为这时的着舰引导系统能提供更多引导信息，舰载机接收到信息后，其飞控系统能快速响应，计算得到修正航线偏差的控制指令，进而通过控制动力系统和机体翼面做出响应，修正偏差。

这一阶段，比较有代表性的是美国第二代全自动着舰引导系统——AN/SPN-46。该系统20世纪80年代后期通过试验，曾引导舰载机在较低能见度、航母甲板纵摇横摇升沉幅度较大的海况下完成着舰动作。但是，该系统也暴露出一定问题，其所给出的着舰位置仍存在不小误差，这种误差让飞行员非常担忧，因此该系统的使用效率并不高。

为解决这一问题，美国航母增加了一些其他着舰系统，包括借助分散布置的俯仰角、方位角信号发射器，给飞行员校准飞行航线、调整着舰姿态提供参考。

俄罗斯也在发展全自动着舰引导系统。库兹涅佐夫号航空母舰投入使用的自动引导着舰系统全称为“电阻器K-4”航空兵近舰空域飞行指挥、导航和着舰引导综合系统。除主桅杆上的“蛋糕桶”状的空中战术导航系统外，“电阻器K-4”自动引导着舰系统还包括“天空哨兵”相控阵雷达和“顶板”三坐标雷达，以及精密进场跟踪雷达、仪表载波着舰系统和左舷的菲涅尔透镜光学助降系统。

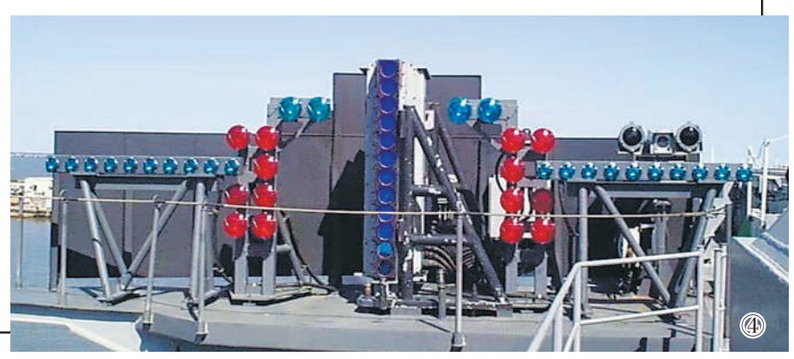
在全自动着舰引导系统构成方面，各国的总体设置并不相同，如法国航母的舰载机着舰引导系统就略显简约，主要靠空中战术导航系统、搜索雷达、菲涅尔透镜光学助降系统这“三板斧”来完成引导。

联合全自动着舰引导阶段。20世纪末21世纪初，一些国家的航母及舰载机在原有全自动着舰引导系统基础上增加了全球卫星导航功能。这使得舰载机在着舰时有了新的数据来源，通过与飞机上原有导航系统所获数据进行比对，就可预先测定相对着陆点，并提供处于运动状态下的航母的精确位置。

赋予该系统全球卫星导航功能的目的当然不止于此，该阶段的着舰引导系统更注重适应性，在精确、可快速部署、抗天气和地形影响、易存活、易维护、具有互操作性方面都有更高要求。其最终目的是降低空间和能见度等因素对飞机运行的影响，使飞机能够在世界上任何适当的陆地或海基平台上降落。

目前，在装有全球卫星导航系统、激光助降系统等多种引导手段的航母上，美军战机进行了海上自动着舰试验，证明了这类着舰引导系统的有效性。根据其海军披露的发展规划，联合全自动着舰引导系统在成熟后，将逐步取代航母上的仪表着陆系统和精确进近雷达的功能，使着舰引导系统更加简约、高效。这一过程中，美海军还有很多问题需要一一解决。

总之，随着当前新型海上作战概念的提出尤其是轻型航母作用的凸显，以及舰载机速度的进一步攀升，其着舰引导面临的情况将更加复杂。无人机上舰、未来海上作战日趋激烈的特点，对着舰引导技术提出了更高要求。可以预见，随着高新技术尤其是人工智能的发展，把更多工作交给高度自动化的机器去做，大幅减少飞行员干预，实现舰载机自动着舰和无人机自主着舰，将成为必然趋势。更智能、更高效、更安全，让战机在着舰过程中和着舰引导设备形成一个智能算法控制的闭环，从而实现精准着舰，这一发展路径已经十分明晰。



图①②：俄罗斯库兹涅佐夫号航母及其“蛋糕桶”状空中战术导航系统；图③④：美国杰拉德·R·福特号航母及其改进型菲涅耳透镜光学助降系统。 资料图片

供图：阳 明

本版投稿邮箱：jfjbbqdg@163.com

舰载机这样着舰

■许洪昌 李学峰

航母上的固定翼舰载机着舰，不仅需要雷达、无线电通信、光电系统、光学引导装置来引导，其着舰流程也相对复杂。根据舰载机从远到近的距离，这一流程可分为归航、待机、进场、下滑、拦阻或复飞五大阶段。

归航阶段：一问一答定位置。舰载机完成任务后，一般都会选择返回航母。这时，就进入归航阶段。飞行员要干的第一件事是问“航母在哪里”。这种问，不是通过话筒直接喊，而是借助舰、机上都有的空中战术导航系统来实现。因为此时，舰、机距离往往很远，其他通信手段作用距离有限，通信距离很远的空中战术导航系统就派上了用场。这种无线电导航系统，美军称之为“TACAN”。飞行员通过机载的该系统向舰载系统发射询问脉冲，后者则会发回应答调幅脉冲。对询问脉冲与应答调幅脉冲之间的时间差与相位差进行计算，就可以获得舰载机与航母之间相对精确的距离和位置信息，并据此规划舰载机的集结、导航以及归航任务。

待机阶段：空中排队等“通知”。航母上装有空中管制雷达，最新型的一些空中管制雷达探测距离可达300千米以上。对飞入相应探测范围的飞机，空中管制雷达一是要加以辨识、分清敌我，另一方面则是掌握其所属机型、机体状况与飞行参数，据此为其安排着舰顺序与精确的着舰航线，同时提供气象等保障信息。这一阶段被称作待机阶段，在着舰飞机较多的情况下，需要飞机在空中按待机航线飞行，“排队”等待航母空中交通管制中心的下一步指令。在一些航母上，空中管制雷达不止一部，空中管制任务有时还会由预警机来分担。

进场阶段：放慢“脚步”拿主意。当待机阶段的舰载机飞行员收到允许着舰指令时，便可驾机脱离待机航线进入进场流程。在这个阶段，舰载机开始减速进场。在飞抵航母后方规定距离和位置上时，舰载机放下起落架，进一步减速。这一阶段，舰载机会接受精密进场控制雷达/自动引导着舰系统的引导，并根据天气及飞行员目视条件选择着舰控制模式——是采用全自动、半自动还是人工模式。全自动模式下，不需要飞行员对舰载机进行干预控制，完全根据精密进场控制雷达所提供的信息来飞行，直至舰载机安全着舰；半自动模式下，舰载机飞行员参考精密进场控制雷达提供的信息，自己视情操控飞机降落；人工模式下，则指飞行员通过与着舰指挥官的语音通话来修正误差进入下滑航线，直到飞行员看到菲涅尔透镜光学助降系统所显示的灯光信号。

下滑阶段：精准降落稳姿态。这一阶段，飞机在按精密进场控制雷达所规划航路飞行的基础上，已经能得到菲涅尔透镜光学助降系统和激光助降系统的辅助。对光学助降系统所投射的在特定角度才能观察到的光学坡面，舰载机飞行员必须严格遵守相关规定，在正确的光层内飞行。同时，对或高或低的飞机姿态及时进行调整。这一阶段对舰载机能否成功着舰至关重要。因此，为确保舰载机处于正确的飞行轨迹，一些国家为弥补菲涅尔透镜光学助降系统在恶劣天气下作用距离不足的短板，启用了仪表载波着陆系统作为辅助设备，通过给舰载机发送滑行倾斜度及中心线偏差信息，来提供着舰误差修正参考。

拦阻阶段：抓住“绳子”定身形。这个阶段舰载机在飞行员操控下，会适时伸出尾钩，钩挂住航母甲板上的拦阻索。在此前后，“稳”成为关键要素，一是在钩挂前要极力保持舰载机飞行姿态的稳定性，二是在尾钩挂住拦阻索后要“稳”，降低发生事故的可能性。如果着舰出现失误，就需要飞行员重新加速拉起飞机，进入下一轮的类似引导着舰流程。

左图：歼-15舰载机放下尾钩准备着舰。

相关链接

兵器控

品味有故事的兵器

■本期观察：谢 安 王 欣 钟翔超

在很多人的印象中，无人机是垂直起飞的。在军用无人机领域，无人机还拥有其他多种起飞方式，如管式发射、手抛发射、弹射发射、母机携带空中发射等。本期“兵器控”，我们就为大家介绍几种典型的管式发射无人机。

Ninox系列无人机

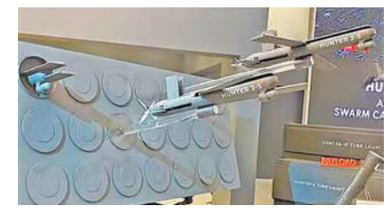
以色列SpearUAV无人机公司推出的Ninox系列无人机尺寸大小不一，却有一个共同特点——可用管式发射装置来“放飞”。

该系列无人机主要有3个型号——可用榴弹发射器发射的Ninox 40、用车载发射管发射的Ninox 66以及可从陆、海、空大型平台布放的Ninox 103。

其中，Ninox 40有着“胶囊无人机”之称。为适应管式发射要求，它采用光滑圆柱体机身设计，4个旋翼和支撑臂可以折叠进机身内。不发射时，该无人机可藏身在一个金属筒内。发射时，则将金属筒连同里面的无人机一起装进枪挂榴弹发射器内，像发射榴弹一样“射”出。在空中，无人机再由筒底助推器助力将其“放飞”。Ninox 66则可通过多管发射构成无人机集群。Ninox 103据称正在打造可用潜艇信号弹和航标发射器等装置发射的型号。

出于管式发射需要，该系列无人机经过专门设计，可承受极端环境与振动。当然，它们也有其他发射方式。比如，Ninox 40无人机可拿在手上直接放飞。

Hunter系列无人机



Hunter系列无人机是阿联酋Halcon公司近年来推出的管式发射无人机。和以色列Ninox系列无人机一样，它也有3个主要型号——Hunter 2、Hunter 5和Hunter 10，其中的数字表示其可以携带的有效载荷重量等。

Hunter系列无人机的较早亮相是在2021年的迪拜航展上，当时与Hunter 10原型机一起展出的重58千克的发射管，表明了该系列无人机管式发射的定位。

在今年阿布扎比举行的第五届国防无人系统展会上，该公司推出了“Hunter-2S”管式发射平台。据称，该平台一次性可以发射21架无人机，车载的操作平台可以同时控制数十架这样的无人机，对敌方装甲车队和高价值固定目标进行蜂群攻击。

Hunter 10无人机的单直机翼可以旋转，与机身纵向对齐，以便置于管中。其它两型无人机的基本构型可能与此差别不大。

“黑翼-10C”无人机

为潜艇研发无人机用于感知或打击目标，是当前各军事强国的重点发展方向之一。除美国之外，以色列、英国也在研制管式发射的潜艇用无人机。其中，美国“黑翼-10C”无人机比较有代表性。

该型无人机用电机驱动螺旋桨推进，滞空时间约1小时。为满足管式发射条件，其弹出式机翼平时藏在机体内，光电和红外传感器、全球定位导航系统以及数据链等部件也被“压缩”在其中。平时，无人机封装在发射筒中，需要时，它可连同发射筒一起，被潜艇上的发射器抛至海面，并在水面完成姿态调整。然后，筒中无人机会根据指令，按照设定条件自行射出，飞向空中，发挥超视距侦察、警戒、协同攻击或者通信中继等作用。据称，该无人机还可加装电子干扰设备，在海战场上发挥更大效能。其超前的设计思路，为各国研发潜艇用无人机提供了借鉴。