舰载战斗机起降技术发展分析

罗福平 张勇

航空母舰是当今世界上拥有强大综合战斗力的海上“堡垒”，而舰载战斗机是航空母舰的主要攻防武器平台，是形成航母战斗群作战能力的基础和根本。由于航空母舰在海上受到海浪的作用，总是在不停地摇摆和升沉运动，并且航空母舰尺寸有限，因此，能否实现在航空母舰上安全起降是舰载战斗机最主要的问题。

舰载战斗机有四种起飞方式（自由滑跑、垂直/短距滑跑起飞、滑跃起飞和弹射起飞）、两种着舰方式（垂直着舰、阻拦着舰），本文就舰载战斗机的各种起降方式及起降技术发展趋势进行简要的介绍。

一、舰载战斗机的起飞技术

在早期的航母上，由于舰载战斗机重量轻、安全离舰起飞速度低，因此舰载战斗机通过自身动力，利用有限长度的飞行甲板就能直接起飞。二战后，特别是喷气飞机的出现，舰载战斗机的起飞方式发生了变化，起飞方式主要有垂直/短距滑跑起飞、滑跃起飞和弹射起飞等。

垂直/短距滑跑起飞方式是利用航空发动机推力矢量控制实现起飞的，其主要应用在轻型航母上。滑跃起飞方式是采用航母舰艏部的上翘甲板结合大推重比的航空发动机实现起飞的，其主要应用于如苏联/俄罗斯“库兹涅佐夫”级中型航母的米格-29K、苏-33舰载战斗机的起飞作业上。弹射起飞方式是利用母舰上布置的弹射装置，在一定距离内对舰载战斗机施加牵引力来达到舰载战斗机的离舰起飞速度，其主要应用于大型/中型的攻击或多用途航母上，如美国或法国的现役航母。

（1）滑跃起飞

滑跃起飞又称斜板跃飞或斜曲面甲板起飞。它是指舰载战斗机先依靠自身动力在航母水平甲板上滑跑，后经航母舰首斜曲面甲板（一般与水平面呈6°～20°斜面，又称滑跳式甲板），使舰载战斗机在离舰瞬间被赋予一定航迹倾斜角和向上垂直分速度，使舰载战斗机跃入空中，实现离舰起飞。目前采用滑跃起飞的国家有英、俄、西班牙、意大利、印度等。

20世纪90年代以前，滑跃起飞航母均为小型航母，而小型航母的舰载战斗机数量种类有限，限制了航母的远洋作战能力，但这主要受到航空技术本身发展程度的制约，不影响滑跃起飞技术的先进性。随着航空技术的发展，出现了推重比接近或超过1.0的现代高性能飞机，它有良好的起飞加速性，仅借助于斜板即可安全、可靠起飞。

滑跃起飞有以下优势：①与水平增速滑跑升空方式相比，在起飞重量和推重比相同的情况下，可使滑跑距离减少60%。②结构简单，造价低廉，不需对飞机作较大改进，且具有操作简单、安全性好等优点。③可简化航母设计、降低造价、节省训练和维修费用。

当然，滑跃起飞也有其缺陷：①对舰载战斗机的飞行性能要求高，需要具有足够的推重比，以及要有大的升阻比和较好的安定性和操稳性能。②需要较大面积的作业甲板，不利于舰载战斗机在舰首停放，使航母的载机数量减少，在一定程度上影响航母作战威力。③滑跃起飞所需的跑道长度大于弹射起飞的长度。④采用滑跃起飞方式时，发动机一般需开加力，油耗加大，使飞机留空时间减少，使其执行任务的能力大打折扣。

（2）弹射起飞

弹射起飞是指用弹射器给舰载战斗机施加外力，使其迅速增速而“弹射升空”。蒸汽弹射起飞方式是目前应用最广泛的起飞方式。

弹射起飞的过程是：首先，升降机把飞机提升到飞行甲板上；弹射起飞前，飞机依靠自身动力滑行到弹射起飞点就位，挂弹射钩和钳制释放钩。弹射器启动后在2～3秒内把飞机加速到接近300千米/时的速度，在弹射冲程末端脱钩离舰。离舰后迎角增大到起飞状态，然后进入爬升。弹射起飞过程是在行程90米左右的平甲板上进行的，纵向过载峰值高达4～5g，飞行员在短时间内将失去协调操纵的能力，离舰后飞行员一般无法立刻有效地操纵飞机。在弹射冲程末端，为使飞机脱开弹射滑块后迅速增大迎角，前起落架设有突伸机构。由于弹射起飞过程中作用在飞机结构上的载荷很大，因此对起落架及弹射结构部件的强度要求更为苛刻。目前，美海军舰载战斗机全部采用这种起飞方式，法国、巴西、阿根廷等国的航母上也采用了该种起飞技术。

弹射起飞具有以下特点：

a）降低了对舰载战斗机的要求。无论是什么型号、种类、起飞重量多大、推重比多少，均可通过弹射器的弹射离舰起飞。

b）保证多架舰载战斗机以较短时间间隔起飞作战。如美国“尼米兹”级航母上配置的4台C-13弹射器，在同时工作时，可使起飞间隔仅为15秒。

c）弹射器技术难度大。目前世界上只有美国能设计制造弹射器。在使用和维修过程中，弹射器的关键部件——开口汽缸和密封带的冷作加工、形状校准、密封恢复等操作过程不仅需要高超技术，而且还应具有相当的经验。

d）弹射器重量重、体积大。如“尼米兹”级航母上的四台C-13弹射器重量为2800吨，体积为2265立方米，占用了70多平方米的甲板舱室空间，影响其他武器装备的配置。

二、舰载战斗机的着舰技术

对舰载战斗机飞行员来说，着舰的真正考验要大于起飞，因为从空中看，航母就像漂浮在汪洋大海上的一片树叶，海上气候十分恶劣（如大风、台风、海雾和潮汐等），不断摇晃的着舰甲板，相对陆上机场要狭窄很多……这些都使舰载战斗机的着舰难度远大于陆地着陆。据统计，着舰阶段所有时间只占整个任务飞行过程所用时间的百分之三左右，但却有三分之一以上的飞行事故多发生在这一阶段。因此在舰载战斗机飞行的各个阶段中，安全着舰是最困难的任务之一。

目前，世界各国航母舰载战斗机的着舰方式有两种，分别是垂直着舰、阻拦着舰。中小型航母上搭载的垂直/短距起降飞机，如“海鹞”战斗机，一般采用垂直降落方式。而大型航母一般采用阻拦着舰方式。

阻拦着舰方式采用拦阻索装置和拦阻网（又名防冲网）装置。拦阻索装置在正常情况下是舰载战斗机缩短着舰滑跑距离的装置；拦阻网是在舰载战斗机处于危急情况下着舰时使用的应急设备。将在航母上降落的舰载战斗机首先要进入环绕航母的环型航线以降低飞行高度和速度，在降落时舰载战斗机的速度要降低到几乎失速的地步。飞行员将放下起落架、襟翼与减速板，将拦阻钩放下，维持一定的速度和下滑速率，航母上的降落官指挥舰载战斗机降落。在航母的飞行甲板布置有四条拦阻索，飞行员必须让舰载战斗机拦阻钩挂上其中一条，理想着舰点是第2、3索，同时必须将发动机开到最大，这样假如没有挂上拦阻索的话，可以在最短的时间内离舰升空，再次加入着舰航线。

拦阻网是一张横向张开在着舰区的巨大尼龙网，一般设在第3根和第4根拦阻索之间（平时不架设，应急情况下几分钟就能临时架设完毕），宽略大于拦阻索，可承受的冲力大于拦阻索，当舰载战斗机因故不能放下拦阻钩或因其它故障不能正常着舰时，使用拦阻网，舰载战斗机冲入拦阻网后，一般会连机带网冲出40～50米后停下来，不但所用的拦阻网而且舰载战斗机也会受到一定程度的损坏。

舰载战斗机要想安全的降落在航空母舰上，必须依靠一系列的助降措施。这些措施主要包括设置助降装置以及配备降落引导人员等。航母上的助降装置主要包括“菲涅尔”透镜光学助降系统（FLOLS）和拦阻索、拦阻网等。近几年，随着电子技术不断应用于航母，又出现了“全天候电子助降系统”。此外，舰载战斗机的全自动降落技术也得到了长足的发展。航母上的降落引导人员中最重要的是着舰指挥官，他负责控制各种助降装置、引导飞机降落。早期的螺旋桨飞机，舰载战斗机是由航母着舰指挥官用信号旗和信号牌引导着舰。二战后，由于喷气式飞机的进场速度较高，引导方式采用菲涅尔透镜光学助降系统的人工引导着舰。

三、舰载战斗机起降技术的发展趋势

（1）电磁弹射

电磁弹射系统采用了先进的检测技术和闭环控制技术，具有弹射性能好、重量轻、占用空间小、适装性好、可靠性高、所需人力少等突出优势，与蒸汽弹射方式相比，电磁弹射能量利用效率提升近10倍。

电磁弹射系统从冷态到弹射准备好只需不到1小时的时间，快速反应能力强，系统可靠性大大优于蒸汽弹射器。

蒸汽弹射器的绝大部分能量都被排出的大量蒸汽带走，而电磁弹射系统的效率明显提高，这意味着电磁弹射减少了对舰上动力系统的需求。

电磁弹射系统体积小、质量轻，有利航母总体布局，节省费用。

当然，电磁弹射技术也存在一些问题，主要难点包括高效储能、直线电机和弹射控制等。但是，电磁弹射器代表了未来航母的发展方向，美军已经在“福特”号航母上配备电磁弹射系统，同时，英国和俄罗斯等国也在进行相关研究工作。

（2）自动着舰系统

为克服恶劣天气、海况对着舰的影响，降低飞行员的着舰负荷，美国海军提出了自动着舰系统，特别是在大气扰动、甲板运动、低能见度及飞行员飞行疲劳等情况下，自动着舰系统更为重要。

自动着舰系统由舰载设备和机载设备两大部分组成。舰载设备包括精密跟踪雷达、数字计算机、稳定装置、显示控制台和数据传输编码/发射装置等；机载设备则由数据传输接收/译码装置、进场/着舰耦合器、飞行控制系统和自动油门系统等组成。

飞机进场窗口离航母约32千米，进场导引由仪表着陆系统完成。当飞机进入跟踪雷达截获窗口后，由自动着舰系统完成着舰导引。舰载精密跟踪雷达捕获并跟踪飞机，系统将所测得的飞机空间位置信息与甲板运动信息输入计算机，处理后与预先设定的理想着舰轨迹比较，得出空间位置误差信息，经导引律得到的控制指令以数据链形式发送至飞机，由飞控系统和自动油门系统不断纠正飞行轨迹，以期使飞机按设定的理想轨迹着舰，若实际轨迹超过着舰安全区，复飞决策系统发出复飞指令，迅速停止着舰运动进入逃逸/复飞模式。

（3）精密着舰的先进控制与显示技术（即“魔毯”MAGIC CARPET）

为降低人工着舰操纵负荷，提高着舰安全性和回收效率，结合当今飞控、航电和动力技术的发展，美军提出了精密着舰的先进控制与显示技术（即“魔毯”），并于2016年在F/A-18E/F飞机上取得初步试验验证结果。

“魔毯”本质上是飞控系统在进近着舰过程中的一种工作模态，控制律设计核心是采用综合直接升力控制技术，实现着舰阶段姿态与下滑轨迹的解耦控制，并应用动力补偿技术，实现迎角与速度自动保持，平显的显示内容根据“魔毯”技术的操作需要，进行补充和裁剪，增加显示下滑道误差、对中误差、指令的幅值、接通的控制律模态、HOTAS指令以及多功能下显等信息，以便飞行员可以快速、准确、可重复地修正误差，提高着舰精度，优化着舰流程，简化飞行员操纵负荷，提高舰载机着舰成功概率和安全性。

“魔毯”技术优势为：①降低飞行员操纵负荷。②减小飞行员着舰操纵难度。③触舰更加精准。④着舰更加安全。⑤出动架次率更高。⑥舰载战斗机机体疲劳寿命得以改善。

（4）电磁拦阻

现役航母上使用的拦阻装置均为液压拦阻系统，主要由拦阻索、滑轮组、液压制动缸、蓄能器四大部分组成。液压拦阻装置对舰载战斗机着舰的重量和着舰速度都有严格的要求，即使如此严格要求，舰载战斗机着舰时拉断拦阻索的情况依然时有发生。为了优化拦阻效果，提高回收速度，美国开发了电磁拦阻装置，并在即将服役的“福特”号航母上部署该装置。

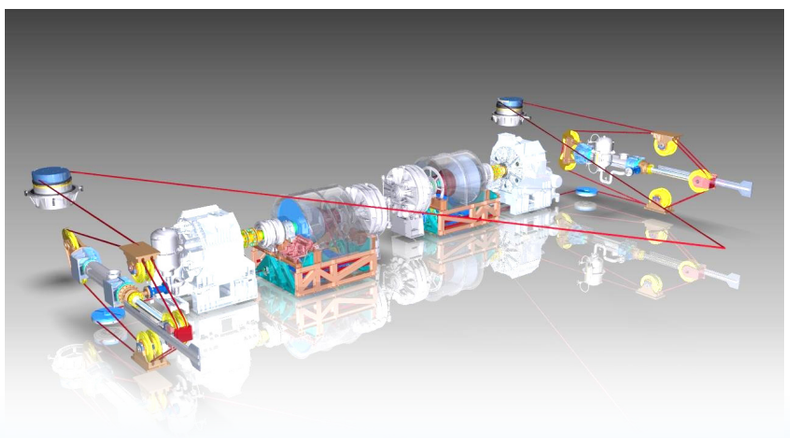
与液压拦阻装置相比，电磁拦阻装置具有重量轻、体积小等优势。电磁拦阻装置由液体涡轮阻尼器、锥形卷筒、电磁阻尼器三部分组成，没有最大的液压制动缸。电磁拦阻装置可把制动载荷波动控制在1%之内，在拦阻舰载战斗机的动态过程中，位于拦阻索两头的电动机能够根据制动过程中的载荷变化主动调整拦阻索的张力峰值，精确控制战斗机着舰拦阻钩的受力，并且能够通过调整拦阻钩两侧拦阻索的长度，使舰载战斗机滑行出着舰区后停止，不需要再移动就可进行下一架舰载战斗机的着舰作业。

电磁拦阻装置具有以下优势：①制动载荷非常平稳，可延长舰载战斗机的寿命。②制动阻尼参数变化灵活，提高回收速度。③维修简单，有效降低运行费用。④降低着舰危险发生概率，增加着舰安全性。

（作者单位为航空工业沈阳所）

光学助降设备

弹射机构



电磁拦阻装置

滑跃起飞