航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Nov. 15 2017 Vol. 28 No.11 10-14

DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2017.11.010

舰载战斗机夜间着舰引导方式初步研究

张健[1,*]，潘华[2]，姜程亮[3]，吕宾[4]，褚世永[5]

1. 海军装备部飞机办公室，北京 100071

2. 海军装备研究院，上海 200436

3. 海军指挥所，北京 100841

4. 西北工业大学，陕西 西安 710100

5. 中国飞行试验研究院，陕西 西安 710089

摘　要：回顾总结了舰载机夜间着舰发展历程，梳理了其夜间着舰流程和引导模式，分析了夜间着舰特点，分类阐述了夜间着舰引导系统的功能和使用现状，为我国舰载机夜间着舰技术发展提出了借鉴思路。

关键词：夜间着舰；事故万时率；舰载机；航空母舰；联合精确进近与着舰系统

中图分类号：E3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1007-5453 (2017) 11-0010-05

舰载机夜间着舰与昼间着舰存在较大差异，飞行员目视参考少、容易产生错觉、操控技术要求高，夜间着舰对飞行员来说是极大的挑战。由于夜间着舰风险极大，美军1965—1980年发生的354起着舰事故中夜间事故占195起，考虑到昼间着舰次数远远多于夜间，夜间着舰事故率远远高于昼间，事故万时率（指飞机飞行1万小时平均发生的事故数）达到昼间的3.5倍以上，因此，舰载机夜间着舰成为了国内外军事研究的焦点[1~3]。

1 舰载机夜间着舰发展历程

舰载机夜间着舰的发展历程可以归纳为起步、探索和成熟三个阶段。起步阶段始于二战后，主要使用F-4、F-8喷气式舰载机进行夜间着舰的尝试，1950年2月完成首次着舰。该阶段主要靠信号棒指示、目视着舰，但成功率较低，常导致着舰失败、机毁人亡，只有少部分飞行员可以完成着舰，基本不具备夜间作战能力；探索阶段自20世纪50年代中期至80年代，主要使用F-8、F-14和F-18飞机，夜间着舰主要采用塔康导航系统、微波着舰进近引导设备、菲涅尔光学助降和甲板灯光系统，夜间着舰条件得到较大改善，特别是雷达自动精密进近系统的引入，使着舰成功率不断提高，事故率逐步降低。这一阶段初期，每艘航母上4个舰载机中队中仅有一个中队具备夜间作战能力，随着装备技术的进步和训练水平的提高，逐步实现了全部中队都具备夜间作战能力；成熟阶段自20世纪80年代中期至今，主要使用F-14、F-18、F/A-18E/F飞机，通过研制新型精密自动引导雷达，提高了对飞机的引导能力；通过改进菲涅尔光学助降系统，提高了分辨率和作用距离，降低了飞行员的操作难度；通过研制激光远距对中引导系统，提高了飞行员远距目视对中能力。新技术的引入使事故万时率稳定在0.4左右，有效地降低了着舰难度和风险。

2 舰载机夜间着舰流程及引导模式

2.1 夜间着舰流程

以美军F/A-18战斗机为例，夜间着舰与昼间着舰主要区别在于着舰航线和进入下滑道的方式不同。昼间着舰主

收稿日期：2017-06-26；　退修日期：2017-07-14；　录用日期：2017-08-28

* 通信作者. Tel.：18510350906　E-mail：2016201515@mail.nwpu.edu.cn

引用格式：ZHANG Jian, PAN Hua, JIANG Chengliang, et al. Preliminary research on the carrier-based aircraft night landing [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28(11): 10-14. 张健,潘华,姜程亮,等. 舰载战斗机夜间着舰引导方式初步研究[J]. 航空科学技术, 2017, 28(11): 10-14.

要围绕“五边四转弯”的航线以及 15~18s 的下滑轨道，以着舰指挥员的指挥为主；夜间着舰流程采取非通场型着舰航线，在舰尾 13000m 处即对准进入下滑轨道，以着舰引导设备引导为主。夜间着舰一般流程如图 1 所示。

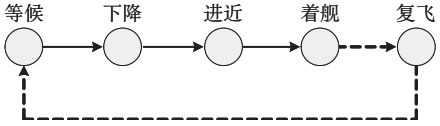

图 1 美军 F/A-18 战斗机夜间着舰一般流程
Fig.1 Flowchart of F/A-18 carrier night landing

(1) 等候：引导范围为返航航线马歇尔等候区。飞机按指定高度等待飞行员。舰面指挥员为首席管制员。

(2) 下降：引导范围为马歇尔等候区到舰尾 6500~10000m。飞行员在舰尾 13000m 对准舰尾（斜角甲板延长线），进入着舰航线，放尾钩；进入后高度逐步降至约 350m、速度降至约 240km/h。舰面指挥员为进近管制员。

(3) 进近：引导范围为舰尾 6500~10000m 到 1200m。飞行员根据管制员指令与母舰自动着舰系统连接，不成功就与备份的母舰仪表着舰系统连接；根据平显指示下降，并按管制员指令调整飞行姿态；1200m 处，按管制员指令呼叫灯球。舰面指挥员为最终管制员。

(4) 着舰：引导范围为舰尾 1200m 到着舰点。飞行员报看灯情况，报告油量，实施注意力分配按三要素进近，根据着舰指挥官 (LSO) 指挥着舰。舰面指挥员为 LSO。

(5) 复飞：如飞机未能着舰，则复飞并返回等候区。舰面指挥员为进近管制员。

2.2 夜间着舰引导模式

美军夜间着舰采用母舰全天候助降系统引导，主要有三种模式 (选择权归最终管制员)。

(1) 模式 1：如果天气十分恶劣，或是飞行员因为各种原因无法自己驾驶飞机降落，控制中心的计算机可以与 F/A-18 战斗机上的电脑连接，通过自动驾驶仪操纵飞机下降。在这种情况下，飞行员完全不操纵，让计算机移动操纵杆和油门，实现着舰。该模式是不得已的选择，几乎没有飞行员会在降落时坐视机器操纵。

(2) 模式 2：计算机通过母舰自动着舰系统不断地提供飞机各种信息，为 F-18 设计出一个完美的路径来降落到航母上。这种方法被飞行员称为“针”，如图 2 所示。因为航母的计算机会在 F/A-18 战斗机的平显上显示出针尖指示的飞行路线，提示飞行员正确的着舰路径。该模式是飞行员的首选。

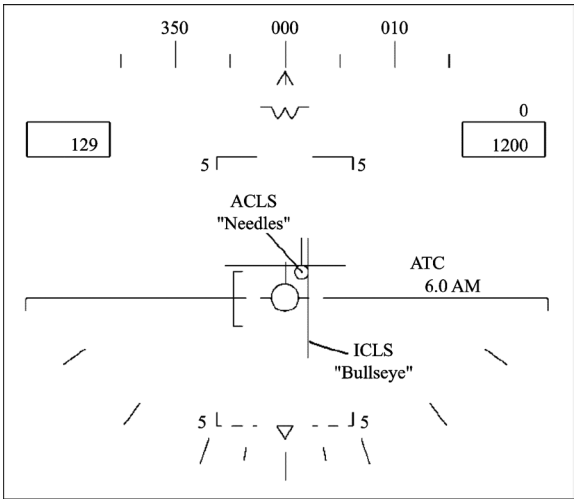

图 2 F/A-18 战斗机平显“针”方法显示
Fig.2 Exhibition of the method named “needle” of F/A-18

(3) 模式 3：如果计算机出现问题，无法实现母舰与飞机的互相交流，最终管制员会要求飞行员按照母舰仪表着舰系统指示进近，同时用语音指导飞机下降。最终管制员根据母舰上雷达跟踪飞机飞行的信息与应采取的正确飞行轨迹之间的差异，用无线电指示飞行员驾驶飞机上升或下降、左右转向。

采用模式 2 和模式 3，当飞机飞到距离母舰 1200m 处时，飞行员可以看到甲板上菲涅耳透镜的光球，LSO 接管指挥权，在飞机触地之前通过无线电发布最后的指令。

3 舰载机夜间着舰特点分析

与昼间着舰相比，舰载机夜间着舰主要特点有：

(1) 着舰航线覆盖的空域变大

由于夜晚海空视场范围小，视觉障碍多，参照物不清晰，因此战斗机夜间着舰不可能采取昼夜“五边四转弯”的着舰航线，不会采用空中编队通场、顺序按时间差解编、再进行五边着舰的方式，而是采用前后时间差的非并列编队，以非通场型的方式着舰。

(2) 建立下滑道准备时间加长

夜间飞行，视觉信息缺失是导致飞行员巨大心理压力的主要因素。在这种情况下，给出尽可能早地建立下滑道准备时间，以便在正确的位置建立正确的着舰下滑道，使飞行员有充裕的时间建立正确的飞行姿态，降低近舰尾段的调整幅度，对于飞行员减压、确保着舰成功率具有重要意义。因此，夜间着舰过程中，不管是仪表、雷达、微波，还是激光、电视以及增程菲涅尔透镜系统，所有的导航、引导设备都是为了使飞行员尽可能容易建立下滑道，尽可能延长下滑道准备

时间，为飞行员争取足够的调整修正时间。

（3）飞行员操控人因工程更加复杂

对舰载机采用全自动着舰方式是十分慎重的。目前，作为最终的着舰节点，完全自动着舰方式因仍不被飞行员采纳，仅作为万不得已的备份选项，绝大多数情况下仍由飞行员通过目视菲涅尔透镜，并根据 LSO 指挥，靠手动完成着舰。飞行员在夜空环境下，由于参照物减少、地面线模糊、视野变窄，通常会产生视觉错觉，行为反应也相应变慢，因此飞行员夜间飞行操控人因工程更加复杂，需要深入开展研究以增强飞行员对夜晚环境的适应性，提高飞行员操控的准确性和效率。

4 舰载机夜间着舰引导系统

目前，舰载机夜间着舰正在使用的引导系统有如下几种：

（1）改进型菲涅尔透镜光学助降系统（IFLOLS）

美国海军 2002 年就在所有航母上采用 IFLOLS 取代了传统的菲涅尔透镜光学助降系统（FLOLS）。相比于 FLOLS，IFLOLS 的最主要优点是能让飞行员在触舰前的最后 1500m 直至触舰过程中接收到更为准确的下滑道信息。它通过以下措施实现了上述改进：把透镜高度由 1m 增加到 2m，使用与 Mk-8 型 FLOLS 相同的下滑道信息来提高灵敏度；将垂直单元灯由 5 个增加至 12 个，使灯球运动比 FLOLS 更明显，如图 3 所示，从而为飞行员提供更准确、更早的灯球运动目视提示信息，让飞行员能够更快地进行修正。IFLOLS 改进了光学特性，增大了视觉范围（夜间可达 2000~2500m 远），为夜间着舰提供了最后阶段的精确、清晰的引导。

（2）仪表着舰系统（ICLS）

ICLS 用于为飞行员提供精确、持续、来源独立的下滑道和对中偏差数据，主要由飞机上安装的接收 / 解码装置 AN/ARA-63、母舰上安装的舰载传输装置 AN/SPN-41 或陆地上安装的岸基传输装置 AN/TRN-28 组成。其中，AN/ARA-63 是机载进近系统，接收并解码由 AN/SPN-41 或 AN/TRN-28 发出的脉冲编码信号，并将偏差指令显示在座舱中。AN/ARA-63 频道设置正确时，处于 ICLS 监视模式下的飞机，在晴朗天气下能收到舰上或岸上基站 80000m 外发出的进近引导信号，在 0.01m/h 降水天气条件下能够收到 16000m 外的进近引导信号。AN/SPN-41 系统使用扫描波束微波天线来发射 Ku 波段（15.4~15.7kMHz）对空信号。高度和方位信息分别使用不同的天线装置来传送，如图 4 所示，通过在覆盖区域中扫描窄扇形波束来生成下滑道和方位信息。

ICLS 在 LSO 控制台上没有显示，其状态显示在位于航母空管中心（CATCC）上的 AN/SPN-41 控制面板上，或岸基雷达空中交通管制设施中的 AN/TRN-28 控制面板上。它能辅助飞行员将飞行偏差降到最低，还可以在 PALS 任何部分发生故障的情况下为飞行员提供下滑道和对中数据。

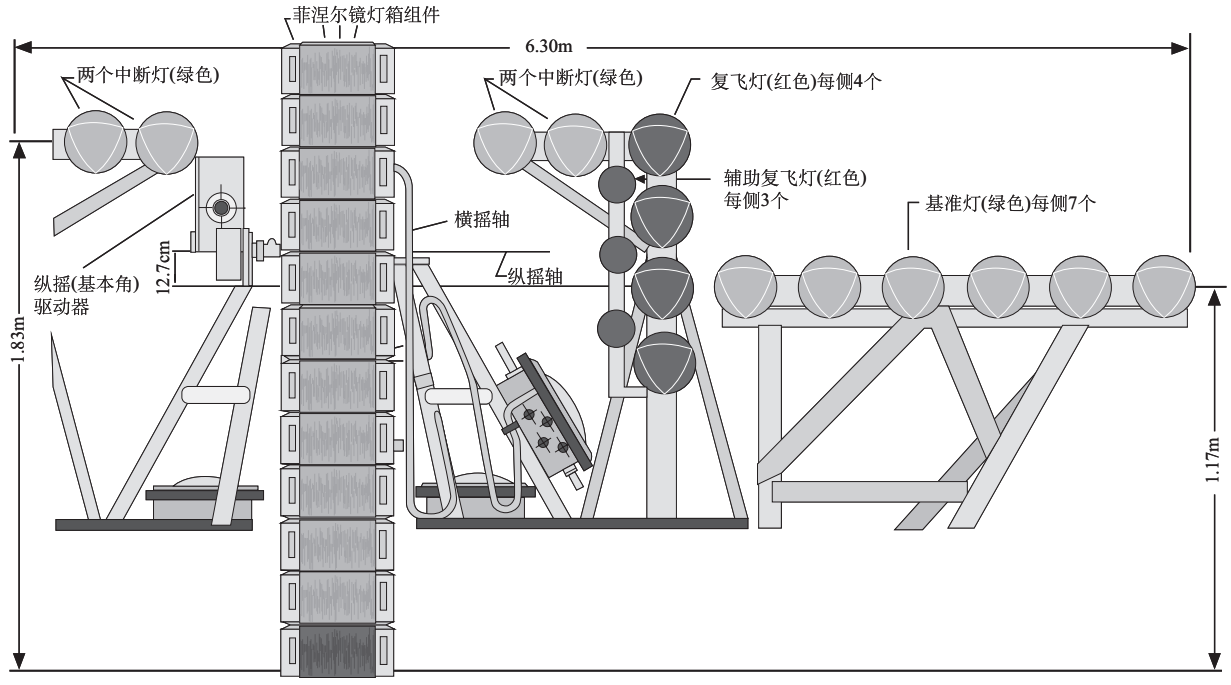

图 3 改进型菲涅尔透镜光学助降系统

Fig.3 Improved Fresnel lens optical support system

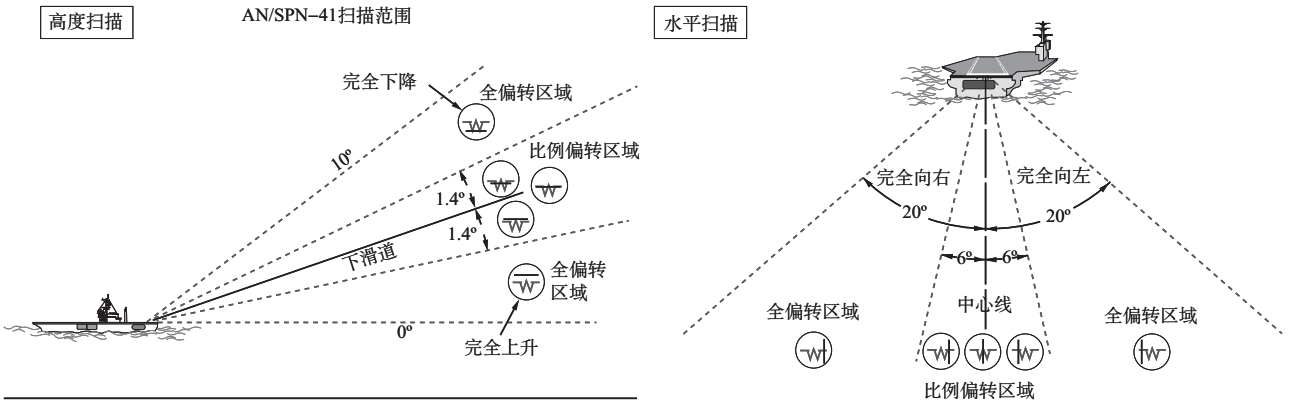

图 4 仪表着舰系统的示意图

Fig.4 Diagram of instrument cattier landing system

(3) 精确进近着舰系统 (PALS)

目前正在使用的 PALS 为 AN/SPN–46A。AN/SPN–46A 设计用于为最终进近和着舰程序中的飞机提供指引，由两个工作波道组成 (A 和 B)，其中任一波道都能够对返航飞机的进近和着舰程序进行指引，直至其在航母飞行甲板上触舰。通过与舰载自动着舰系统的其他部分一同工作，每个波道都能够在 1min 内让一架装备正确的飞机着舰，系统的着舰速率为每分钟两架飞机。每个波道都有 5 个工作模式 (I、IA、II、IIT、III)。其中，模式 I 为全自动模式；模式 IA 在高度不小于 60m、距离不小于 2500m 时为全自动模式；模式 II 为半自动模式，采用手动进近，使用 SPN–41 或 SPN–42 向飞机提供下滑道和对中信息；模式 IIT 同模式 II 相同唯一区别是还使用航母控制进近 (CCA) 管制员 (即最终管制员) 的信息；模式 III 则是通话指挥着舰模式，仅使用航母控制进近管制员提供的信息手动进近。由于飞行员在 2500m 以内始终控制飞机，因此在这个距离范围内使用模式 IA、模式 IIT、模式 III 的 PALS 进近与手动进近 (即模式 II) 一样。模式 I 的进近则有很大不同，由舰载计算机控制飞机航向和高度，由机载计算机控制飞机的油门设定。

此外，美国还在进一步改进精确进近着舰系统，称为“联合精确进近与着舰系统”(JPALS)。JPALS 是为替代目前舰载机使用的雷达自动着舰系统而研制，可以克服同一时间不能引导多架飞机或对于隐身飞机可能会失效的缺点，提高整个舰载机联队的回收效率，并大幅降低进场着舰的事故率[4]。

5 结论

夜间舰载机飞行经历了漫长的探索发展过程，随着关键技术的不断突破，当前的“尼米兹”级航母舰载机机群，其夜间着舰技术日趋成熟，形成了规范的运作流程，已经具备全天候出动和作战能力。然而，美军为达到“未来夜晚是属于我们的”目标，在着舰引导系统上仍在不断升级改进，一方面，JPALS 正在研制试验；另一方面，为进一步降低飞行员操作负荷，提高着舰成功率，诸如“航母舰载机精确进近与回收的增强引导综合控制技术”(MAGIC CARPET)、新型目视甲板灯阵引导”(Bedford Array) 等新技术也正在研发。我国舰载机发展速度较快，但对夜间着舰的难度和风险的认识需进一步加强，不能简单地把昼间着舰流程方法移植到夜间，需要对夜间着舰技术进行深入系统地研究，不断改进着舰引导设备，提升舰面辅助系统水平，构建多体制着舰引导体系，加强新技术新手段的研发应用，从而降低飞行员的操控难度，提高夜间和恶劣气象下的着舰成功率。我国的夜间着舰引导方式拟在现有引导设备现有体制基础上，借鉴美军先进经验进行技术改进，建立起具有我军特色的夜间引导机制。

参考文献

[1] 张翼麟，王一琳 . X–47B 完成夜间飞行试验 [J]. 飞航导弹，2014 (05)：67.
ZHANG Yilin, WANG Yilin. Night flight test based on X–47B has been completed [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2014 (05): 67. (in Chinese)

[2] 叶青 . 夜间飞行 [J]. 科技创新导报，2012 (18)：232.
YE Qing. Flying during the night [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2012 (18): 232. (in Chinese)

[3] 齐晓华 . 夜间飞行视觉疲劳的原因及卫生保障 [J]. 航空军医，2001 (06)：274
QI Xiaohua. Causes of visual fatigue and health protection during

night flight [J]. Flight Surgeon, 2001 (06): 274. (in Chinese)

[4] Bett C J, Simon S A, Farnworth B J, et al. Flight test of the JPALS LDGPS demonstration system [J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2001, 29 (1–2): 185–194.

（责任编辑 王潇一）

作者简介

张健（1982— ） 男，学士，助理工程师。主要研究方向：航空装备指挥与管理。

Tel：18510350906

E-mail：2016201515@mail.nwpu.edu.cn

Preliminary Research on the Carrier-based Aircraft Night Landing

ZHANG Jian[1,*], PAN Hua[2], JIANG Chengliang[3], LV Bin[4], CHU Shiyong[5]

1.Aircraft Office of Navy Armaments Department, Beijing 100071, China

2.Naval Academy of Armament, Shanghai 200436, China

3.Naval Command Post, Beijing 100841, China

4.Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710100, China

5.Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: Reviewed and summarized the development process of carrier-based aircraft night landing, combed its night landing process and guidance mode, analyzed the characteristics of night landing, classified the function and use status of the night landing guidance system, and the development of aircraft night landing technology put forward the idea of reference.

Key Words: carrier night landing; accident rate during 10000 hours; carrier-based aircraft; aircraft carrier; JPALS

Received: 2017-06-26; **Revised:** 2017-07-14; **Accepted:** 2017-08-28

***Corresponding author. Tel.** :18510350906 **E-mail:** 2016201515@mail.nwpu.edu.cn