

着舰安全与复飞技术

Safety and Waveoff Technologies in Carrier Landing

主 编 南京航空航天大学 杨一栋
副主编 南京航空航天大学 江 驹
海军装备部飞机办公室 张洪涛
海军驻南京地区航空军事代表室 徐佳龙
杨一栋 江 驹 张洪涛 徐佳龙 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

着舰安全与复飞技术

主 编 南京航空航天大学 杨一栋
副主编 南京航空航天大学 江 驹
海军装备部飞机办公室 张洪涛
海军驻南京地区航空军事代表室 徐佳龙
杨一栋 江 驹 张洪涛 徐佳龙 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

舰载机必须借助于十分先进的精确制导与控制技术,以全天候的工作要求将飞机安全降落在着舰环境十分恶劣的航空母舰上。当遇到不测,飞行员认为不可能完成着舰任务时,放弃着舰飞行,称为复飞。所谓逃逸是舰载机在着舰时一接触甲板就自动加大油门起飞的一种飞行状态。为了研究复飞与逃逸技术及相关的着舰安全措施,本书主要包括以下内容:全天候进场着舰的工作模态以及飞行员安全操纵策略,指出返航着舰时航空母舰上的操作和安全措施;全天候着舰引导控制系统的诸工作模态的切换技术,及相应的仿真验证;建立纵侧向基本复飞决策系统,开发几种新型的复飞决策系统,并进行可行性仿真验证;建立具有复飞决策功能的舰载机自动着舰系统实时可视化半物理仿真平台,实时验证复飞决策系统的可行性;研究舰载机逃逸技术及可行性验证。

本书可供从事该领域的学者、工程技术人员及飞行员借鉴参考,亦可供相关学科专业院校的研究生作为辅助参考教材。

着舰安全与复飞技术

杨一栋 主编

※

国防工业出版社出版

国防工业出版社印制

内部发行(版权所有 不得翻印)

*

开本 787×1092 1/16 印张 10¼ 字数 228 千字

2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—300 册

统一书号:15118·1311 工本费:100.00 元

编委会名单

主 编 南京航空航天大学 杨一栋

副主编 南京航空航天大学 江 驹

海军装备部飞机办公室 张洪涛

海军驻南京地区航空军事代表室 徐佳龙

编 委(按姓氏笔画排序)

王 辉 王新华 杨建民 罗云宝 龚华军

前 言

航空母舰是当今世界上的海上堡垒,拥有强大的海上综合作战能力。由于舰载机的着舰环境十分严峻,在着舰过程中,受到各种干扰的影响或出现不可预估故障,经常会偏离理想下滑轨迹。此时,飞行员能否及时准确地执行复飞,对保证飞机安全至关重要。据文献报道,目前舰载机每着舰 20 次,就有一次需要进行复飞,即复飞概率为 $1/20$ 。因此,舰载机着舰的关键技术是如何保障舰载机在十分恶劣的着舰环境下,安全准确地着舰。为此,对舰载机着舰安全的开发研究一直吸引着众多学者、工程技术人员以及飞行员。

本书从保障舰载机安全的角度出发,重点研究并开发当出现着舰意外时的工作模式切换、安全复飞及逃逸技术。主要内容如下:

第 1 章,详细描述了 4 种返航进场模式的工作条件、着舰航线及不同阶段的操纵方式以及在返航进场过程中常用的机载仪表装置,在此基础上指出舰载机进场着舰时飞行员安全操纵策略以及返航着舰时航空母舰上的操作和安全措施。

第 2 章,着重研究全天候着舰引导控制系统的诸工作模式的转换技术,开发了当飞行轨迹脱离安全区和数据链出现故障时的模式转换。

第 3 章,开发纵侧向基本着舰复飞决策系统,建立纵侧向复飞边界准则和复飞区,开发不同方式的纵侧向复飞决策系统。

第 4 章,开发了迎角保持与军用推力联合操纵的复飞控制策略,建立新的复飞边界准则及相应的复飞决策系统,开发了一种基于模糊控制的复飞决策系统。

第 5 章,设计了具有推力矢量控制的着舰复飞决策系统,对其优越性进行仿真验证。

第 6 章,开发了具有复飞决策功能的舰载机自动着舰系统实时可视化半物理仿真演示平台,验证了开发的复飞决策系统的可行性。

第 7 章,详细研究了逃逸操纵技术,对逃逸原因与准则进行了分析,建立了舰载机逃逸气动力数学模型,设计了相应的逃逸控制器,对可行性进行仿真验证。

本书所涉及的研究与开发工作多年来一直得到有关上级领导及相关技术人员的鼎力支持与合作,在此表示衷心感谢。由于编著者们水平所限,错谬之处敬请读者批评指正,不胜感激。

杨一栋
2013 年 3 月

缩 略 语 表

缩写	英文全称	中文名称
ACLS	Automatic Carrier Landing System	自动着舰系统
AWCLS	All - Weather Carrier Landing System	全天候自动着舰系统
ADI	Attitude Director Indicator	姿态显示器
AFCS	Automatic Flight Control System	自动飞行控制系统
APC	Approach Power Compensator	进场动力补偿
ASR	Air Surveillance Radar	空中监视雷达
CATCC	Carrier Air Traffic Control Center	航空母舰航空指挥中心
CCA	Carrier Controlled Approach	舰上控制进场系统
CDC	Tactical Control Center	战术指挥中心
EOD	Explosive Ordnance Disposal	军用爆炸物处理
FLOLS	Fresnel Lens Optical Landing System	菲涅耳透镜光学着舰系统
HUD	Head Up Display	平视显示器
ICLS	Instrument Carrier Landing System	仪表着舰系统
ILARTS	Integrated Launch And Recovery Television Surveillance System	发射和回收电视监控系统
LSO	Landing Signal Officer	着舰信号指挥官
MCLS	Microwave Landing System	微波着舰系统
MOVLAS	Manual Optical Visual Landing Aid System	人工光学可视助降系统
TACAN	Tactical Air Navigation System	塔康
VDI	Visual Doppler Indicator	多普勒雷达显示器
WODD	Wave off Decide Device	着舰复飞决策系统

目 录

第 1 章 舰载机返航着舰工作模式、控制策略及安全措施	1
1.1 引言	1
1.2 返航与着舰过程的空域划分	1
1.3 返航进场着舰模式 I ——目视进场及非涅耳透镜光学着舰	3
1.3.1 模式 I 的工作条件	3
1.3.2 模式 I 飞行航线描述	3
1.3.3 模式 I 中的马歇尔等待航线	6
1.3.4 飞机目视着舰航线分析	7
1.4 返航进场着舰模式 II ——仪表着舰系统进场及目视着舰	11
1.4.1 模式 II 的工作条件	11
1.4.2 模式 II 飞行航线描述	12
1.4.3 模式 II 中的马歇尔等待航线	12
1.5 返航进场着舰模式 III ——仪表着舰系统进场及全天候着舰引导系统着舰	14
1.5.1 模式 III 的工作条件	14
1.5.2 模式 III 飞行航线描述	14
1.5.3 模式 III 中的马歇尔等待航线	16
1.5.4 模式 III 中的 ICLS 进场	16
1.5.5 模式 III 中的 AWCLS 着舰	17
1.5.6 返航进场着舰模式 III 的引导设备	19
1.6 返航着舰模式 IV ——紧急着舰	20
1.7 机载安全着舰仪表辅助设备	21
1.7.1 平视显示器	21
1.7.2 姿态指示器	22
1.8 进场着舰时飞行员安全操纵策略	25
1.9 飞机返航着舰航母上的操作及安全措施	27
1.9.1 着舰时空军军官与 LSO 任务职责	27
1.9.2 阻拦装置的清理与飞机的停靠	30
1.9.3 回收时航母上的安全防范措施	31

第 2 章 全天候着舰引导控制系统的模态转换技术研究	33
2.1 引言	33
2.2 飞行轨迹脱离安全区时的模态转换	33
2.2.1 着舰安全区的建立	33
2.2.2 安全区仿真模型建立	36
2.2.3 仿真验证结果分析	39
2.3 数据链出现故障时的模态转换	43
2.3.1 数据链监控	43
2.3.2 FLOLS 的工作视场	43
2.3.3 数据链出现故障时的模态转换流程	44
2.3.4 仿真验证结果分析	44
第 3 章 纵侧向基本着舰复飞决策系统	49
3.1 引言	49
3.2 着舰复飞决策技术	49
3.2.1 着舰复飞决策装置研究必要性验证	49
3.2.2 着舰复飞决策系统	50
3.3 纵向复飞边界准则及复飞区的建立	52
3.3.1 复飞区上边界准则	52
3.3.2 复飞区下边界准则	53
3.4 纵向复飞决策系统开发	55
3.4.1 基于飞机小扰动动力学模型的复飞决策系统开发	55
3.4.2 基于终端状态预估(TSP)方程的复飞决策系统开发	57
3.4.3 两种复飞决策系统性能对比	61
3.5 侧向复飞区的建立	63
3.5.1 飞机侧向小扰动动力学模型的建立	64
3.5.2 侧向飞控系统的设计	65
3.5.3 侧向偏移下的自动对中	69
3.5.4 按指数规律回中	71
3.5.5 复飞区的建立	72
3.6 侧向复飞决策系统开发	75
3.6.1 基于小扰动动力学的复飞决策系统结构原理	75
3.6.2 侧向复飞决策系统数值仿真验证	76
第 4 章 迎角保持与军用推力联合操纵的复飞决策系统	79
4.1 引言	79

4.2	复飞边界准则	79
4.3	复飞指令信号描述	79
4.4	基于模糊控制器的复飞决策系统设计	80
4.4.1	基于模糊控制器的复飞决策系统总体结构	80
4.4.2	模糊控制器的设计	81
4.4.3	建立基于小扰动动力学的复飞轨迹	82
4.5	纵向智能复飞决策系统数值仿真验证	85
4.5.1	两种准则下的复飞轨迹和复飞区比较	85
4.5.2	加入复飞决策系统后的飞行轨迹比较	85
第 5 章	具有推力矢量控制的复飞决策系统	88
5.1	引言	88
5.2	推力矢量飞机的动力学模型及特性验证	88
5.2.1	推力矢量飞机动力学模型的建立	88
5.2.2	推力矢量飞机对推力变化的响应特性	89
5.3	推力矢量飞机自动着舰引导系统的开发	90
5.3.1	推力矢量飞机着舰导引系统 $ACLS \mid \begin{smallmatrix} APC \\ \Delta\theta_c \end{smallmatrix}$ 设计与仿真验证	91
5.3.2	推力矢量飞机着舰导引系统 $ACLS \mid \begin{smallmatrix} \Delta\theta=0 \\ \Delta T_c \end{smallmatrix}$ 设计与仿真验证	93
5.4	推力矢量飞机自动着舰引导系统的综合性能评定	95
5.4.1	推力矢量飞机着舰引导系统的轨迹跟踪性能评定	95
5.4.2	推力矢量飞机着舰引导系统的抗风性能评定	96
5.5	推力矢量控制对复飞性能的改善	98
5.5.1	复飞轨迹对比	98
5.5.2	复飞区对比	99
5.6	最优推力矢量角的确定	99
5.6.1	不同推力矢量角对自动着舰导引系统轨迹跟踪性能的影响	99
5.6.2	不同推力矢量角对自动着舰导引系统抗风性能的影响	100
5.6.3	不同推力矢量角对飞机复飞性能的影响	101
5.6.4	最优推力矢量角的结论	101
5.7	具有推力矢量控制复飞决策系统	102
5.7.1	总体结构配置	102
5.7.2	复飞决策流程分析	102
5.7.3	具有推力矢量的复飞决策系统仿真验证	104
第 6 章	具有复飞决策功能的舰载机 $ACLS$ 实时可视化半物理仿真演示平台的开发	105
6.1	引言	105

6.2	半物理仿真演示平台	105
6.2.1	仿真演示平台的结构配置	105
6.2.2	具有复飞决策功能的三维 ACLS 仿真计算机	106
6.2.3	串行口通信技术	106
6.2.4	雷达仿真器	109
6.2.5	动画演示计算机	110
6.2.6	数据采集	110
6.2.7	舵机系统	111
6.2.8	光传系统	111
6.3	实时可视化半物理电传/光传实验	112
第 7 章	舰载机逃逸操纵技术研究	116
7.1	引言	116
7.2	复飞逃逸的原因与准则研究	116
7.2.1	复飞逃逸的原因分析	117
7.2.2	逃逸复飞准则	117
7.3	舰载机逃逸离舰气动力学模型建立	119
7.3.1	舰载机逃逸非线性动力学模型的建立	119
7.3.2	飞机起落架模型的建立	126
7.3.3	无舵面操纵时复飞逃逸仿真分析	132
7.4	逃逸离舰系统控制律设计与仿真验证	134
7.4.1	逃逸离舰纵向人工操纵控制律设计与仿真验证	134
7.4.2	逃逸离舰侧向保持控制律设计与仿真验证	136
7.5	逃逸离舰影响因素分析	139
7.5.1	驾驶员操纵策略对逃逸离舰的影响	139
7.5.2	甲板运动对逃逸离舰影响	141
7.5.3	阵风扰动对逃逸离舰影响	146
7.5.4	发动机延时对逃逸离舰影响	147
7.5.5	航母航速对逃逸离舰影响分析	149
参考文献		151

第1章 舰载机返航着舰工作模式、控制策略及安全措施

1.1 引言

本章对国内外有关文献进行了综合分析梳理,着重对国外典型舰载机的远程返航与进场着舰过程、工作方式、控制策略及安全措施进行了研究,使读者对舰载机着舰引导这一复杂系统的工作机理有一个清晰的、较为详尽的认识,进而掌握其技术特征及相应的舰上安全防范措施,为本书的后续章节展开建立必要的技术基础知识。

本章内容分为两大部分。第一部分是1.2节至1.6节,首先概述了远程返航进近着舰空域和飞行阶段的划分,接着分别叙述了4种返航进场着舰模式的工作条件、着舰航线及不同阶段的操纵方式。第二部分是1.7节至1.9节,1.7节主要讲述了在返航进近过程中常用的机载辅助仪表设备——平视显示器和姿态显示器,说明了飞行员按照仪表的指示下操纵舰载机进行下滑对准、甲板对中的工作程序。1.8节提供了低动压着舰时,舰载飞机在不同着舰模式控制策略的选择。1.9节主要阐述航母工作人员在回收准备、进场着舰、清理着舰阻拦装置以及停靠舰载飞机等方面应做的工作,并列出了其中的安全防范措施。

1.2 返航与着舰过程的空域划分

舰载机返航着舰过程根据离航空母舰(后文简称航母)的距离可以分为4个阶段:引导、等待、进场与着舰,如图1.1所示。而进场至着舰过程中又有盘旋、对中、下滑、阻拦、复飞和紧急着舰等阶段。

1. 引导

舰载机从作战空域返航时,首先由预警机进行引导。例如美国舰载机着舰一般由E-2C预警机进行引导,舰载机从预警机得到的信息主要是舰载机离航母的位置和周边空中交通状况。

如果舰载机飞行员发现自己的飞机出现燃料不足或机械故障时,一方面可直接与航母通话,由航母调整舰载机的着舰顺序。此外还能根据情况的需要,接受空中加油或通过航母与陆上基地取得联系进行紧急着陆。在正常着舰状态下,舰载机在离航母200n mile远处接受舰上航空飞行管制中心的航行管制和指挥,航空飞行管制中心设置在舰岛下方的战斗指挥所内。航空飞行管制中心操纵台的显示器可显示通过雷达捕捉到的航母周围

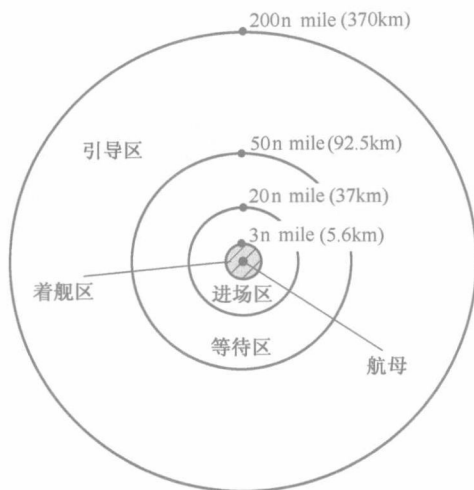


图 1.1 舰载机返航进场着舰过程空域划分

200n mile 半径内的空域情况。航母飞行管制中心据此直接向舰载机或其他的己方飞机提供信息或指令。

2. 等待

舰载机通过航空飞行管制中心可获得本机离航母的距离、方位、高度及航母的航向,及航母周围飞行的其他舰载机的位置等信息。通过这些信息,舰载机可确认自己的准确位置,在指定的高度进入等待航线,等待进场信息,安全地接近航母。

3. 进场与着舰

舰载机进场方式主要有目视进场、塔康/空中监视雷达(Tactical Air Navigation System/Air Surveillance Radar, TACAN/ASR,)进场及仪表着舰系统(Instrument Carrier Landing System, ICLS)进场或微波着舰系统(Microwave Carrier Landing System, MCLS)进场等方式;着舰方式主要有仪表/微波着舰、自动着舰系统(Automatic Carrier Landing System, ACLS)、菲涅耳透镜光学着舰系统(Fresnel Lens Optical Landing System, FLOLS)及人工光学可视助降系统(Manual Optical Visual Landing Aid System, MOVLAS)等着舰方式。

图 1.2 描述了典型舰载机在整个返航过程中经历的三个飞行阶段(等待、进场与着舰)以及各阶段的飞行路程、高度、速度和各自的引导方式。

由图 1.2 可知,舰载机从离航空母舰约 50n mile 开始,经历等待、进场与着舰三个飞行阶段,以完成着舰任务。等待飞行阶段约离航空母舰 50~21n mile,在这一空域内可以由舰上 TACAN/ASR 执行引导任务。从离航母 20~8n mile(或延至 4n mile)空域内由舰上的 ICLS/MCLS 引导飞机。从 8n mile 后,开始进入着舰飞行阶段,这一飞行阶段可以由 ACLS 最终完成着舰任务,但仍由 ICLS/MCLS 进行监控。遇到不利情况,又由 ICLS/MCLS 替代 ACLS 引导飞机至离航母 0.75n mile 处,使飞机进入菲涅耳透镜光学

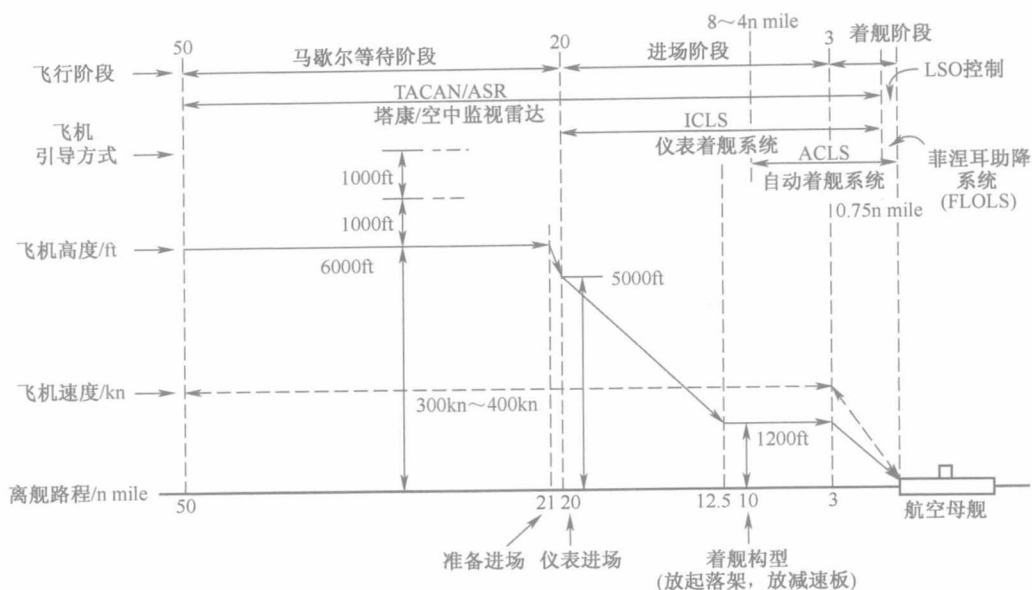


图 1.2 飞机返航进场及着舰过程剖视图

着舰引导区域。

航空飞行管制中心所在的战斗指挥所设有航母航空指挥中心(Carrier Air Traffic Control Center, CATCC)。CATCC 内设有指挥 20~50 n mile 空域内的舰载机等待操纵台和指挥 3~20 n mile 空域内的舰载机进场操纵台,它们由 CATCC 军官统一指挥。归航的飞机进入航空母舰控制范围(50 n mile 内)后,通常要按马歇尔等待航线飞行,并报告本机的位置、高度、燃油状态等信息。

舰载机等待控制台的操作人员向即将进场的舰载机通报当前的着舰方式、拦阻方式以及着舰开始的位置等信息,并引导其过渡到进场着舰阶段。

1.3 返航进场着舰模式 I

——目视进场及菲涅耳透镜光学着舰

1.3.1 模式 I 的工作条件

模式 I 又称目视飞行,其工作条件为:天气状况良好,航母控制区域内云层高度在 3000ft 以上,并且能见度超过 5 n mile。

1.3.2 模式 I 飞行航线描述

图 1.3 所示为返航着舰模式 I——目视进场与菲涅耳透镜光学着舰(Fresnel Lens Optical Landing, FLOL)的飞行航线。

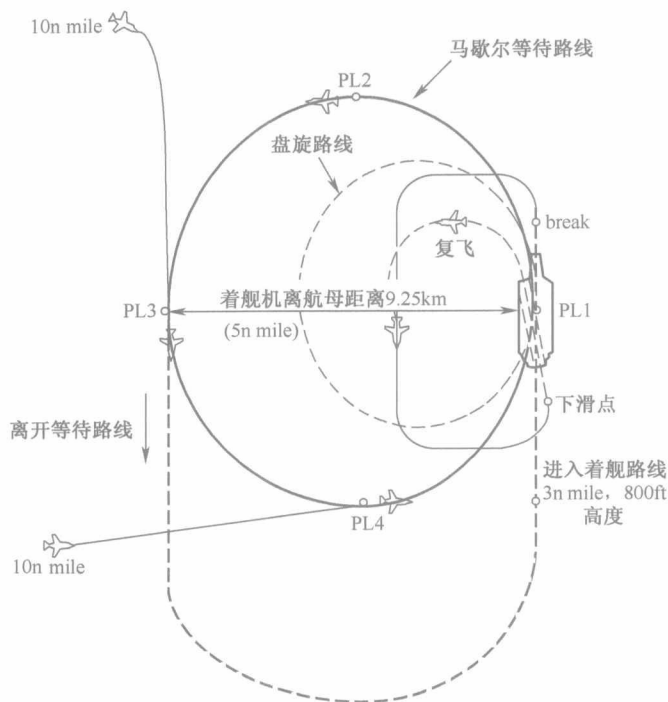


图 1.3 返航着舰模式 I —— 目视进场与菲涅耳透镜光学着舰

飞机进入进场区看见航母后,在 10n mile 处,转由塔台进行控制。并以此为起点进入等待航线,即 I 类马歇尔航线。该等待航线是一个逆时针圆形航线,直径为 5n mile。飞机在进入等待航线之前的 10n mile 处,以塔台给出的等待高度水平飞行切入等待航线。不同飞机的等待航线高度不同, I 类马歇尔等待航线最低高度是 2000ft。等待航线高度间隔为 1000ft。等待航线上最低高度的飞机具有进场优先权。飞机在等待状态下,每次通过航空母舰上空的 PL1 点时都与进场操作员进行联系,以确认是否获得着舰许可。考虑到舰载机在各自等待航线中飞行时可能出现燃料不足的情况,在 4900ft 的高度上特意安排了空中加油机。飞行员接收到塔台发出的着舰信号(Charlie)后,从等待航线上垂直航母的位置(即图 1.3 中的 PL3 点)开始沿图 1.3 中细虚线所示路径离开等待航线,并下降到位于航母后方 3n mile, 800ft(约 240m)高度。并继续逆风飞行通过航母上空准备进入转弯航线。接着飞机改变航向直接进入下滑点(如图 1.3 细实线所示)或者进行盘旋(spin)飞行(如图 1.3 虚线圆所示),这要根据着舰航线上的飞机数来决定。盘旋航线一般开始于航母首部,如图 1.3 所示盘旋时,飞机首先爬升到 1200ft(约 360m)高度,按逆时针圆形航线飞行,圆形航线直径为 3n mile,着舰航线上的飞机数目最多为 6 架。飞机进入盘旋航线目的是维持飞机之间的时间间隔,并等待允许进入编队脱离阶段。所谓编队脱离阶段是指飞机从 800ft 高度水平左转弯直接进入着舰航线的阶段。飞机至少在航母前方 1n mile 处,最多离前方 4n mile 距离,进入编队脱离。当飞机结束编队脱离

阶段后,飞机进入顺风阶段,并开始下降到 600ft(约 180m)高度。

图 1.4 为没有盘旋航线的菲涅耳透镜光学着舰区飞行航线。舰载飞机进入着舰航线时的飞行高度为 800ft(约 240m),飞行速度在 154~180m/s 之间。通过航母上空或右舷时放下尾钩,关闭武器弹药的发射开关,发动机油门采用 85%~89% 军用推力。飞机继续沿直线飞行一段距离后,打开减速板,表示要着舰。高度下降到 600ft(约 180m)时进入 break 阶段,即进行 180°水平左转弯,接着飞机逆航母前进方向沿左舷作水平飞行。在这段飞行中,飞行员检查飞机重量,要确认飞机重量小于最大着舰重量,飞机在航母左侧后方飞行约 1n mile 后再次作 180°转弯,到达着舰区中心线延长线的后方,进入下滑道,这时的高度为 380ft(约 116m),速度为 64~66.7m/s,在离舰约 0.75n mile(约 1389m)。这时,着舰信号指挥官(Landing Signal Officer, LSO)将菲涅耳透镜光学着舰系统的信号切换灯点亮,使飞行员确认飞机已进入下滑道,此时飞行员将保持一定的飞行速度和迎角,按菲涅耳助降系统引导着舰,如图 1.5 所示。如果在着舰过程中复飞指示灯闪亮,飞行员必须立即把油门杆推到最大军用推力位置,拉起飞机,重新进场着舰。如果飞机的燃料不足,可由航母上空待命的加油机实施空中加油。

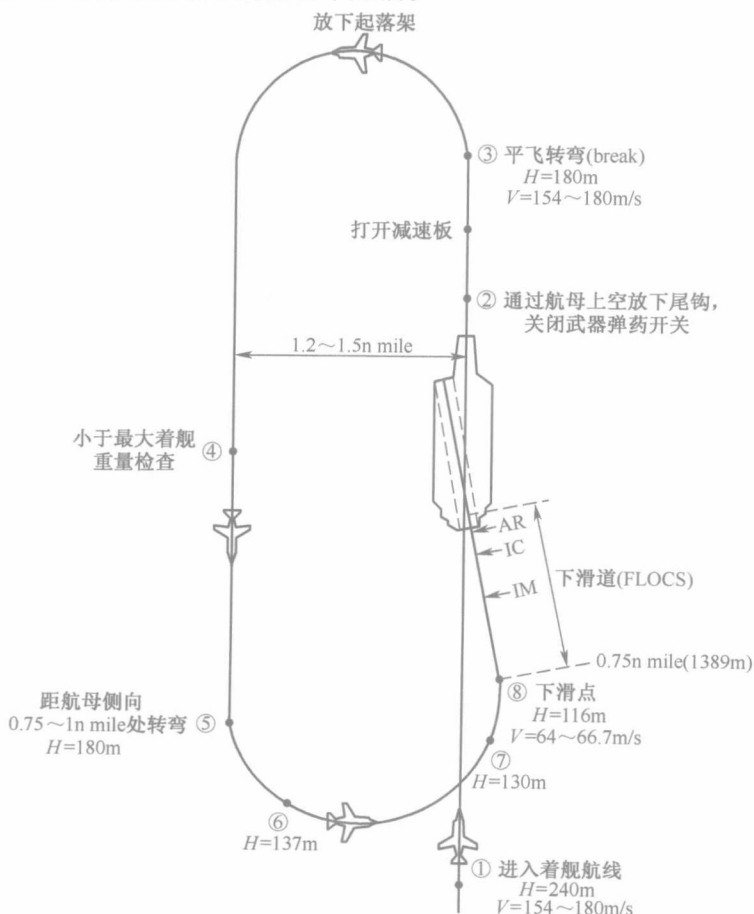


图 1.4 菲涅耳透镜光学着舰航线

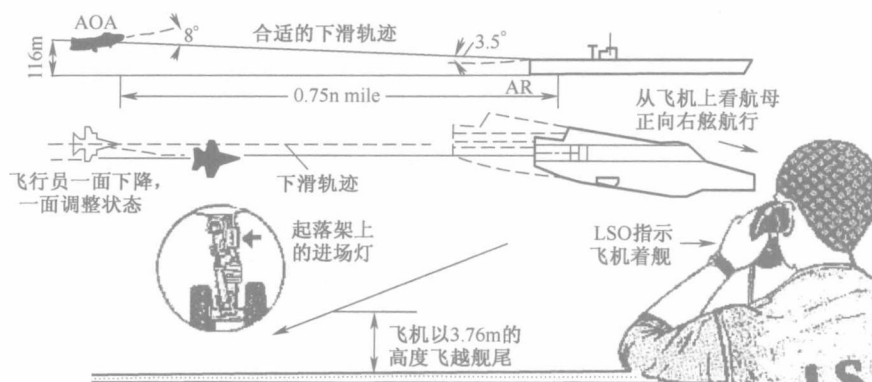


图 1.5 进入菲涅耳透镜助降系统的着舰轨迹

1.3.3 模式 I 中的马歇尔等待航线

模式 I 中的等待航线属于 I 类马歇尔航线, 如图 1.6 所示, I 类马歇尔航线适用于云层高度 3000ft 以上, 能见度超过 5n mile 的飞行条件。

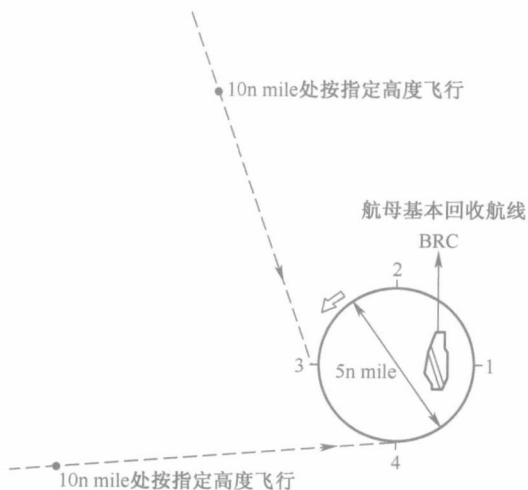


图 1.6 I 类马歇尔航线

1. 进入 I 类马歇尔航线

- (1) 飞机在已编队飞行进入等待航线之前 10n mile 处, 按指定高度进行水平飞行。
- (2) 按切线方向进入等待航线。

2. I 类马歇尔等待航线描述

- (1) 左手圆形航线(以编队飞行), 与航母基本回收航线(BRC)在 3 点钟位置相切。
- (2) 等待圆的直径 5n mile。
- (3) 指定高度 2000ft(最小)。

(4) 以最大省油速度飞行。

3. I 类马歇尔航线进场 (如图 1.7 所示)

(1) 飞机从等待航线上正横向位置或从正对舰尾位置开始下降进入初始着舰阶段。

(2) 到达 7n mile, 下降到 1200ft 高度, 进入转弯进场。

(3) 在 3n mile, 800ft 处进入初始阶段, 由长机报告进入“初始阶段”。

(4) 保持好的队形(以梯形标准飞行方式)。

(5) 保持时间间隔在离舰首 1n mile 之外进入减速机动段。

(6) 若需要进行盘旋飞行, 则进入盘旋过程: 从舰首开始, 爬升到 1200ft 进入直径为 3n mile 的盘旋航线, 当重新进入减速机动段时, 报告“盘旋 90”。

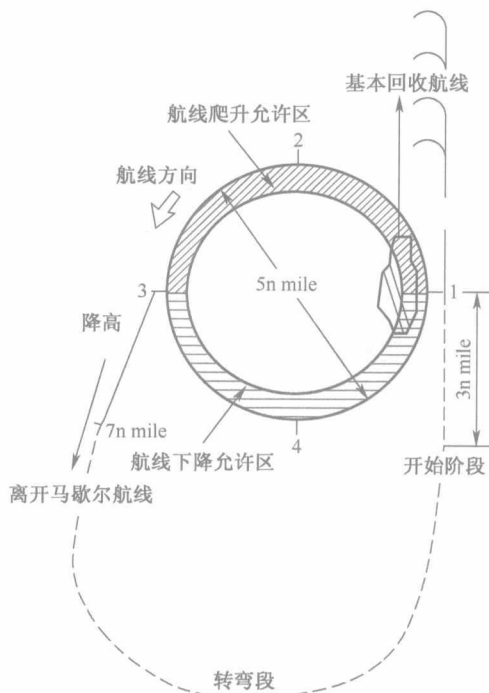


图 1.7 I 类马歇尔航线进场

1.3.4 飞机目视着舰航线分析

本节将以 F/A-18 飞机为例, 说明模式 I 的目视飞行着舰航线。如图 1.8 所示, 该目视着舰航线主要包括 4 个阶段: ①初始阶段; ②break 和顺风阶段; ③转弯到下滑阶段; ④下滑着舰阶段。

1. 初始阶段

在初始阶段, 飞行员驾驶飞机按计划好的标准航线, 飞向航母上方, 准备进入椭圆着舰航线, 如图 1.9 所示。这个阶段开始于离航母尾部 3n mile, 800ft 高度处, 结束于航母首部上方或者稍微越过航母首部。