

自动着舰引导系统 验证指南

Automatic Carrier Landing System Certification Manual

南京航空航天大学
船舶系统工程部

杨一栋
张宏军

主译
谭玮 副主译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

U674/1008



2008047832

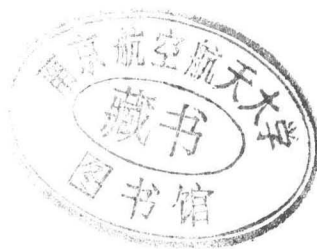
U674
1008-1

自动着舰引导系统验证指南

Automatic Carrier Landing System

Certification Manual

南京航空航天大学 杨一栋 主译
船舶系统工程部 张宏军 谭玮 副主译



国防工业出版社

· 北京 ·

2008047832

内 容 简 介

自动着舰引导系统(ACLS)可供飞机全天候地安全可靠地着陆在航空母舰上,这一高难度引导技术在美国已日趋成熟。本书参考美国 AD-A1181817 报告《Automatic Carrier Landing System(ACLS)Category III Certification Manual》编译而成,其目的是对自动着舰引导系统的工程试飞验证提供信息与指导。其内容十分详尽,包括系统的验证准则与规划,试验的各种设施,航行前的测试,海岸基地及海上飞行试验,试验的记录与分析,故障排除等。

这一 ACLS 验证指南,对从事开发着舰引导技术以及保证飞机安全着舰的工程技术人员有借鉴作用,也可为有志于研究 ACLS 的人员参考。

自动着舰引导系统验证指南

杨一栋 主译

张宏军 谭玮 副主译

※

国防工业出版社出版

国防工业出版社印刷厂印刷

内部发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 194 千字

2007 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—720 册

统一书号: 15118·321 工本费: 100.00 元

编委会名单

主 译 杨一栋

副主译 张宏军 谭 玮

编 委 (按姓氏笔画排序)

王新华 杜 亮 李宝柱 张 军

南卫生 高 杰 蔡 斌

前 言

由美国在 20 世纪 50 年代提出的,目前已日趋成熟的自动着舰引导系统(Automatic Carrier Landing System,简称 ACLS)可将飞机全天候地安全准确地降落在航空母舰上,这需要有高难度的精确引导手段。它由以下几部分组成:

- 自动着陆控制中心(Automatic Landing Control Center,ALCC)
- 航空母舰空中交通控制中心(Carrier Air Traffic Control Center,CATC)
- 自动飞行控制系统(Automatic Flight Control System,AFCS)
- 仪表着舰系统(Instrument Landing System,ILS)
- 菲涅耳透镜光学助降系统(Fresnel Lens Optical Landing System,FLOLS)

本书是参考美国 AD - A1181817 报告编译而成,其目的是对上述各组成部分的 ACLS 验证试验工作提供必要的信息与技术指导。全书共 14 章及附录,包括 ACLS 验证的准则、规划与准备;验证试验的各种设施与设备;航行前的各种测试;海岸基地及海上的飞行试验及结果分析;故障的排除等。作为对正文的补充,所提供的附录内容也十分详尽可贵。

本书从工程角度出发,将验证工作分为两类。一类是包括数据链在内的港口飞行试验验证,以保证飞机按下滑线飞行的纵向误差,以及对准跑道中心线的侧向误差在规定的范围内。另一类是在航空母舰运动状态下的飞机着舰试验验证,主要验证对准跑道中心线的误差,舰上稳定设施工作的正确性,以及校验自动着舰引导系统的控制性能。

本书对着舰引导系统的设计研究有直接的借鉴作用,也可作为有志于研究 ACLS 的学者们的重要技术参考。

本书的出版是参与编译工作的学者们的辛勤工作,以及工作在国防事业岗位上有识之士奋力支持与合作的结果。作为主译,谨向对本书出版工作做出贡献的全体人员致以深切的谢意。

由于时间仓促,加之编译工作者们的水平所限,恳请读者对编译工作中的错误及不当之处提出改正意见,不胜感激。

杨一栋

2006 年 6 月

目 录

绪言	1
第 1 章 引言	2
1.1 目的	2
1.2 背景	2
1.3 保密性	2
1.4 授权	3
第 2 章 ACLS 验证	4
2.1 目的	4
2.2 日程安排	4
第 3 章 ACLS 系统工作特性	6
3.1 引言	6
3.2 AN/SPN-42A 着舰控制中心组成	6
3.3 工作模态	6
第 4 章 验证计划及准备	9
4.1 引言	9
4.2 与验证有关的事项	9
4.2.1 详细费用估计	9
4.2.2 NESEA 备忘录	11
4.2.3 技术保障处备忘录	12
4.2.4 试验计划	13
4.2.5 验证要求信息单	14
4.2.6 工作计划	16
4.2.7 空运请求	19
4.2.8 商业空运	20
4.2.9 航空母舰情况简要通告	21
4.2.10 试验记录册	21
4.2.11 维护要求备忘录	21
4.2.12 其他相关事项	21
4.3 验证的准备工作	25
4.3.1 以往的验证工作	25

4.3.2	航空母舰的信息	26
4.3.3	风速表校正	26
4.3.4	舰载机的配置	26
4.3.5	舰载机控制方案	26
4.3.6	舰载机控制	26
4.3.7	舰上情况报告	27
4.4	预备会议	29
第5章	测试设备	30
5.1	引言	30
5.2	飞机仪表	30
5.3	摄影仪器	30
5.3.1	跑道中心线摄影机	30
5.3.2	侧向摄影机	30
5.3.3	舰岛摄影机	31
5.3.4	舰尾挂钩摄影机	31
5.3.5	摄影可达范围	31
5.4	AN/SPN-42 测量	31
5.4.1	模拟量图表卡片	31
5.4.2	输入/输出(I/O)控制台数字数据	34
5.5	NICOLET 分析仪	34
第6章	航行前试验	35
6.1	引言	35
6.2	校核评估试验	35
6.2.1	FLOLS 几何校核	35
6.2.2	稳定子系统	39
6.3	飞机检查试验	43
6.3.1	地面检查	43
6.3.2	飞行试验	43
6.4	飞行员对验证任务的熟悉	44
第7章	海上飞行试验	45
7.1	引言	45
7.2	试验项目组	45
7.2.1	试验协调官	45
7.2.2	项目工程师	45
7.2.3	其他试验项目组成员	46
7.3	试验站	47
7.3.1	航空母舰空中交通管制中心(CATCC)	48

7.3.2	设备室	48
7.3.3	雷达室	48
7.4	试验操作	49
7.4.1	航空母舰操作	49
7.4.2	飞行操作	49
7.5	试验条件	49
7.5.1	自然环境	49
7.5.2	可控环境(因素)	55
7.6	方案配置	55
7.6.1	俯仰指令 RAMP	56
7.6.2	垂直基准的变化	56
7.6.3	下滑坡度变化	56
7.7	进场数量	57
第 8 章	试验记录和试验曲线	58
8.1	引言	58
8.2	进场记录	58
8.3	飞行员卡片	59
8.4	进场最后 20s 数据曲线	60
8.5	风模型图表	62
第 9 章	ACLS 检验准则	63
9.1	引言	63
9.2	试验条件	63
9.3	试验飞机	63
9.4	评估标准数据	63
9.4.1	飞行员满意性	64
9.4.2	登舰率	64
9.4.3	纵向着舰点	65
9.4.4	纵向着舰点散布误差	66
9.5	着舰特性预估	66
9.6	综合准则数据	66
第 10 章	验证后的分析与报告	69
10.1	引言	69
10.2	后期数据整理	69
10.3	数据分析	69
10.4	验证报告	69
10.4.1	验证总结与试验条件	70
10.4.2	试验数据	70

10.4.3	相应的建议	73
10.4.4	备注部分	73
第 11 章	ACLS 故障排查	74
11.1	引言	74
11.2	ACLS 的常见问题	74
11.2.1	信标故障	74
11.2.2	旁瓣波锁定	75
11.2.3	距离偏差	76
11.2.4	雷达编码器和数据稳定子系统 (DSS)	76
11.3	ACLS 的非常见故障	80
11.3.1	FLOLS 的误校正	80
11.3.2	AN/SPN-42 测量记录参数中的尖峰值	80
11.3.3	电磁干扰 (EMI)	82
11.4	飞机的机载测量仪器	82
第 12 章	AN/SPN-41 及 TRN-28 验证	83
12.1	引言	83
12.2	岸上校准	83
12.3	海上校准	83
12.4	作用范围测试	83
12.4.1	方位角范围	83
12.4.2	高低角范围	84
12.4.3	距离范围	84
12.4.4	缩比工作范围	85
12.5	验证报告	85
12.6	TRN-28 验证	85
第 13 章	ACLS 在海岸基地的验证	86
13.1	引言	86
13.2	验证中各部门的职责与验证程序	86
13.3	验证的执行	86
13.4	验证标准	87
13.5	对报告的要求	87
第 14 章	验证与核实	88
14.1	引言	88
14.2	核实	88
14.3	试验步骤	88
附录		89
附录 A	海军司令部物质指挥部发布的 NAVMATINST 5400.20 文件	89

附录 B	海军航空系统司令部发布的 NAVAIRINST 13800.11A 文件	91
附录 C	着舰过程	97
附录 D	AN/SPN-42 控制方案及与飞机相关的参数	98
附录 E	舰上主要图表曲线	113
附录 F	进行 ACLS 验证所需的飞机配置	117
附录 G	飞机进场特性	118
附录 H	过去的验证数据	119
附录 I	航空母舰舰载 ACLS 试验适用性协调会议	130
附录 J	AN/SPN-41 仪表着舰系统	132
附录 K	菲涅耳透镜光学助降系统	133
附录 L	自动着舰引导系统 (ACLS) 的品质等级 (AQR)	134
附录 M	试验结果统计值	137
附录 N	着舰预估	143

绪 言

自动着舰引导系统 (Automatic Carrier Landing System, 简称 ACLS) 是全天候着舰引导系统。它由以下几部分组成:

- 自动着舰控制中心 (Automatic Landing Control Center, ALCC)
- 航空母舰空中交通控制中心 (Carrier Air Traffic Control Center)
- 仪表着舰系统 (Instrument Landing System, ILS)
- 菲涅尔透镜光学助降系统 (Fresnel Lens Optical Landing System)
- 自动飞行控制系统 (含动力补偿) (Automatic Flight Control System)

编写自动着舰引导系统验证指南的目的是为了对 ACLS 验证提供信息与指导。指南中包含的信息涵盖了验证的规划、有关试验的重要数据及方法。

本书主要是参考美国 AD-A118181 报告《Automatic Carrier Landing System (ACLS)》编译而成。

第 1 章 引 言

1.1 目的

编写自动着舰引导系统(ACLS)验证指南的目的是为了对正确进行 ACLS 验证提供必要的信息和指导。指南中包含的信息涵盖了验证中的重要数据、有关试验及方法,用验证工作中所要求的一整套规划、试验和报告来指导用户进行验证工作。

附录 A,NAVMATINST 5400.20 指出了海军系统指挥部验证 AN/PN-42HE SN/SPN-42-T4 的工作要求。附录 B,NAVAIRINST 13800.11A 进一步指出了责任故障。海军电子系统工程机构的资料 NO.022-102B 详细地说明了 I 类和 IIA 类验证部分。下面本指南详细介绍 IIB 类和 III 类验证的有关细节。

1.2 背景

海军 ACLS 是 20 世纪 50 年代后期提出来的,其主要目的是减小着舰故障率。海军的规范操作要求(SOR)NO.34-06R1 指出:“为了支持海军的常规和有限作战任务,需要开发全天候着舰系统,该系统必须使喷气式舰载飞机,不管在白天或夜间,无论恶劣的天气与海况,不论存在低云层与低能见度与否,都能在航空母舰上进场与着舰。”而当前的 ACLS 能满足这一 SOR 的大部分要求。接着要实施的工作是必须在规定的电子规范内,保持完整的舰载/机载系统操作。这就是 ACLS 验证的过程。

ACLS 验证试验可分为以下三种类型:

- 第 I 类是 ACLS 系统各种电气部件校验工作。舰上设备的 I 类校验工作需要 7 天~10 天完成,由 NESEA 队员去执行。
- 第 II 类试验是飞行试验,在港口进行,对系统进行校核试验,证明系统正常。其中 IIA 由 NESEA 实施,在海军航空试验中心协助下完成,以保证系统按下滑线及跑道中心线的飞行误差在规定的范围内。IIB 类试验通常由海军航空试验中心(NAVAIRTESTCEN)与 NESEA 联合进行,包括装有数据链的飞机的进场飞行,保证闭环系统正常工作。
- 第 III 类试验由 NAVAIRTESTCEN 对合格的飞机进行着舰试验,注意:此时,舰是航行中的。其中,IIIA 试验用来证明着舰对准及稳定设备的工作正确性。而 IIIB 试验是要保证将要采用的舰载机从被锁定到着舰过程中具有良好的模态 I 控制性能。

1.3 保密性

本文是解密文献,所以用户可以自由影印其中的任何部分甚至全部内容。

1.4 授权

该自动着舰引导系统验证指南是 ARINC 研究公司在海军电子工程中心的授权下,按照合同 N00421 - 81 - C - 0187 编写而成的。

第 2 章 ACLS 验证

2.1 目的

进行 ACLS 验证的目的有两个,一是要规定舰上的或岸上的 ACLS 的期望性能(公制单位表示);二是要确定某些环境限制条件,在这些限制条件下,运用以上性能可以使被测系统控制飞机自动安全着陆。

2.2 日程安排

验证工作大约需要 18 周时间,包括计划、准备、先期试验、海上试验、验后分析等。验证中典型的工作步骤可见表 2-1,表中给出了验证步骤的有关部门。

海军航空试验中心(NAVAIRTESTCEN)项目小组一般在海上试验之前用 6 周左右的时间从事与验证有关的工作。第一阶段工作是对验证进行计划和工作准备。

表 2-1 ACLS 验证的关键步骤

步 骤	时 间
制定验证日程(由型号指挥官[TYCOM]送交海军航空系统指挥部[NAVAIR]总部[HQ])	海上验证前 24 周 ^①
指定专用日程表或提出后勤保障需求请求(由 NESEA/海军航空试验中心送交航空母舰指挥部)	海上验证前 6 周
确定试验内容(由海军航空试验中心负责)	海上验证前 4 周
召开验证计划会议(型号指挥部、航空母舰指挥部、海军航空试验中心及 NESEA 参加)	海上验证前 4 周
验证前的视察(NESEA)	海上验证前 4 周
调试试验装备(NESEA)	海上验证前 2 周
类型 I 试验前对航空母舰惯性导航系统及菲涅尔光学助降系统的验证测试(型号指挥部)	海上验证前 2 周
类型 I 试验(NESEA)	海上验证前 1 周
类型 IIA 试验(NESEA)	海上验证前 1 周
验证模态 III(NESEA)	海上验证前 1 周
类型 IIB 类试验(海军航空试验中心/NESEA)	海上验证前 1 周 ^②
类型 III 类试验(海军航空试验中心/NESEA)	海上验证开始后的 1 周内

(续)

步 骤	时 间
模态 I 验证的最终情况报告(含有临时验证)(航空母舰指挥中心送交海军航空试验中心/NESEA)	海上验证的尾声
完成验证信息报告,要标明差异(NESEA)	海上验证结束后 2 周 ^③
提交经验证的计算机补丁程序(NESEA 交至航空母舰)	海上验证结束后 4 周
提交类型 I 电气测试报告	海上验证结束后 4 周
得出最终的验证结果(海军航空试验中心送交海军系统司令部)	海上验证结束后 10 周
最终的电气试验结果(NESEA 送交海航系统司令部)	海上验证结束后 10 周
最终验证报告(海航系统司令部送交型号指挥部)	海上验证结束后 12 周
注: ① 类型 II 试验结束且类型 III 试验开始前要有 1 周的间隔时间。 ② 类型 II 验证结束到类型 III 验证开始应有 1 周的间隔时间。 ③ 海上验证之后	

第3章 ACLS 系统工作特性

3.1 引言

使用舰载 ACLS 基本目的是让空中交通管制系统管制飞机和使交通管理下的飞机安全着舰。着舰可以按全自动、半自动或手动无线电引导着舰模式进行,选择何种模式由飞行员决定。ACLS 完整的接口部件包括 AN/SPN-42A 着舰控制中心,它以 AN/SPN-41 仪表着舰系统与菲涅尔透镜光学助降系统(FLOLS)为独立监控器。

3.2 AN/SPN-42A 着舰控制中心组成

ACLS 是全天候着舰系统,为飞机提供安全可靠的航空母舰进场和着舰服务。使用 AN/SPN-42KE,可安全地将飞机在白天或夜间降落在运动的航空母舰上,并尽可能不受不利天气、能见度及海况的影响。

AN/SPN-42 主要组成包括一台精密跟踪雷达、稳定平台及高速通用计算机。雷达安装在舰岛后边约 30ft ~ 60ft^① 的甲板上。稳定平台安装在雷达基座的附近,AN/SPN-42 计算机及其外围设备安装在设备室内,它靠近舰载交通管理中心(CATCC),控制台装在那里。在着舰信号官平台上及在主飞行控制室提供了辅助显示。

从原理上讲,ACLS 工作顺序很类似于语音控制的飞机进场着舰。由舰载雷达跟踪飞机上的一个点源,类似于信标及角反射器,即可决定飞机相对于雷达天线的空间位置。然后,将斜距及角位置数据由 ACLS 计算机转换为甲板上理想着舰点处的侧向、纵向与垂直位置坐标。稳定子系统向计算机提供数据,目的是为了补偿舰甲板偏航、俯仰与滚转及垂直运动。计算机给出的舰运动有关值可抵消甲板运动对测量飞机空间位置数据的影响。校核后的数据进入计算机对飞行轨迹进行计算,并与存储于计算机中与当前 ACLS 控制下的飞机相同的飞机所对应的飞行轨迹进行比较,由计算机将误差转换为俯仰、倾斜指令。指令的形成考虑到了飞机响应特性的要求。然后,将指令通过数据链发送给飞机或通过 ACLS 操纵者以口头指令发出,这由采用的工作模式决定。

3.3 工作模式

在 ACLS 控制下,飞行员有 4 种工作模式。

模式 1: 从进入 ACLS 作用范围到在航空母舰上着舰结束为止,完全是自动控制,

^① 1ft = 0.308m。

它通过飞机的飞行控制系统来实现。

模态 2: 半自动控制, 飞行员根据座舱显示出的 ACLS 发出的误差信号, 用手动方式引导飞机。

模态 3: 它是人工控制着舰。由 ACLS 操作员用无线电发送口头指令引导飞机进场。

模态 1A: 类似于模态 1, 但是需要在着舰前的最后 0.5mile^① 进行手动飞行控制。

工作模态由飞行员选择, 在着舰过程中任何时候飞行员均可采用手动控制模态。当 AN/SPN-42 第一次锁定飞机时, 计算机工作在模态 2; 飞行员此时可一直按模态 2 飞行, 或者切换到自动驾驶仪在指令作用下工作(模态 1 工作)。对于装有信标的飞机进场模态 1 工作时需要有信标处于工作中。

模态 1 进场时, 计算机产生飞行员指令通过数据链发送至飞机, 并耦合到自动飞行控制系统(AFCS), 使飞行员监控飞机。由 ACLS 控制的飞行控制系统使飞机保持在设计的下滑轨迹上, 而自动油门(APC)的工作是为了保持进场迎角不变。在着舰前约 12s, ACLS 产生并发送甲板补偿指令(DMC)到飞机上。甲板运动信号引入后的 12s 里, 只通过 2s 的变化即可控制飞机垂直位置, 使飞机的相位与舰甲板运动同步。

在进场的最后几秒内, 一般在着舰前 6s ~ 10s 内, 需另外给飞机加入舰尾(Ramp)俯仰指令, 以使飞机能安全通过舰尾紊流扰动区。在验证过程中, 这些舰尾指令随舰与飞机的不同而异, 而且这些指令是以飞机通过紊流区时测量到的 ACLS 性能为基础的。

模态 2 进场时, 将飞行的误差数据发送到飞机并通过飞机的平显仪及下显仪指示出来, 飞行员按显示控制飞机直到能够看到航空母舰的甲板为止。此时, 通常离航空母舰约 0.75mile。此时, 飞行员依靠菲涅尔光学助降系统(FLOLS)进行目视着陆。当飞机已经回到正确的下滑线及中心线上, 就像 ACLS 引导的那样, 此时飞行员只需作较小的矫正以保持飞机对准着舰。

在模态 3 工作时, 作为模态 1 或模态 2 的安全监控员, 此时成为控制回路的成员。他通过观察控制台上的雷达显示器, 获得飞机的方向与高低误差, 发出口头指令给飞行员。飞机相对于理想轨迹的方向与下滑误差的发送是通过语音通信链实施的, 然后由飞行员进行“talked down”。附录 C 给出了着舰模态及过程的详细描述。

ACLS 设计还包括许多安全因素, 包括余度子系统、计算机核查、舰载独立监视器及飞机上独立的位置显示器。模态 1 和模态 2 最终进场着舰所有情况均由飞行员和舰载控制器进行监控。

如果正在进场飞机所获得的控制量超过极限值, ACLS 会采取两种可能的方式, 一种方式是将自动模态系统切换到人工模态, 另一种方式是发出复飞指令。在模态 1 时, 若 ACLS 超出控制极限, 且离着舰 12s ~ 5s 内, 那么复飞指令会自动发出。此时,

^① 1mile = 1609m。