

doi: 10.7690/bgzdh.2018.01.001

某型舰载机 FCLP 模拟训练系统设计

田杰荣¹, 张 力¹, 韩 晨¹, 史存虎²

(1. 海军航空兵学院舰载机系, 辽宁 葫芦岛 125001; 2. 民航山西空管分局技术保障部, 太原 030031)

摘要: 为了解决舰载机陆基着舰训练 (field carrier landing practice, FCLP) 风险性大、事故发生率高的问题, 设计一种基于某型舰载机特点的模拟训练系统。依据舰载机着舰训练的要求, 在传统飞机模拟器基础上对系统组成结构及各分系统进行了详细设计, 建立了光学助降系统模型与着舰指挥员模型, 并对视景系统进行了优化设计, 实现了人工着舰与自动着舰 2 种指挥模式, 并具有飞行回放与讲评功能。实际应用结果表明: 该系统对于提高舰载机飞行员陆基着舰训练技术效果明显, 具有较高的军事经济价值。

关键词: 舰载机; 陆基着舰训练; 飞行仿真; 着舰指挥官

中图分类号: TJ86 **文献标志码:** A

Design of FCLP Simulation Training System for Certain Type Carrier-based Aircraft

Tian Jierong¹, Zhang Li¹, Han Chen¹, Shi Cunhu²

(1. Department of Carrier-based Aircraft, Naval Aviation Academy, Huludao 125001, China;

2. Department of Technology Support, Shanxi Air Traffic Management Branch of CAAC, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to solve the high risk and high accident rate of carrier-based aircraft field carrier landing practice (FCLP), designs a simulation training system based on the character of certain type carrier-based aircraft. Considering the demands of landing training, the system structure and each subsystem are designed in detail based on traditional aircraft simulator, the optical assisted landing system model and the LSO model are set up, and the visual system is optimized. This system supports artificial carrier landing and automatic carrier landing, and it can playback and debrief the flight training. The actual application showed that the system can improve the pilots' carrier landing technology obviously, has important military and economy value.

Keywords: carrier-based aircraft; FCLP; flight simulation; LSO

0 引言

舰载机飞行操纵技术复杂, 训练费用高、难度大、风险高。飞行员在航空母舰上进行着舰飞行之前, 必须先进行陆基模拟着舰训练^[1-2]。FCLP 是舰载战斗机飞行员在上舰前的重要训练内容, 可以模拟训练着舰关键技术, 降低风险、节省成本, 减少对主要训练资源的依赖^[3]。在 FCLP 过程中, 飞行员要使用标准的着舰进近程序进行大量的重复练习, 建立修正进近误差的感觉, 直至熟练地掌握着舰技术。飞行员在 FCLP 中的总体水平通常会在实际着舰操作时得到体现。

FCLP 是高风险科目, 如果舰载机飞行员的训练全部采用实装训练, 则有可能出现较高的飞行事故率。笔者设计的 FCLP 模拟训练系统作为重要的训练资源, 可以使飞行员熟悉操作程序、了解飞机运动规律、掌握特情处置方法、提高心理素质, 减少不安全因素; 因此, 采用模拟训练手段可有效提高飞行员的操控能力、替代部分实装训练、减少事

故发生率, 是提高舰载机训练安全性的有效手段。

1 系统功能

1.1 模拟地面与“空中”操作训练

本模拟训练系统提供 1:1 的座舱仿真环境, 使飞行员能够熟悉座舱设备, 掌握使用程序, 强化习惯养成。飞行员既可模拟在“地面”完成座舱实习, 进行座舱设备通电检查; 又可模拟在“空中”进行座舱设备的空中操作与使用程序的模拟训练。

1.2 模拟飞行员与指挥员的交互训练

系统可以与着舰指挥员 (landing signal officer, LSO) 相配合完成舰载机 FCLP 的光学引导下滑、定点着陆、复飞与逃逸等科目的训练, 其中 LSO 提供人工着舰指挥和自动着舰指挥 2 种模式, 满足了飞行员与 LSO 的协同配合训练。

1.3 模拟训练数据的记录与处理

系统可记录模拟着舰飞行训练中的有关数据,

收稿日期: 2017-10-28; 修回日期: 2017-11-24

作者简介: 田杰荣(1982—), 男, 山西人, 硕士, 讲师, 从事分布式仿真、飞行仿真研究。

模拟飞行结束后，可以对 FCLP 航线数据，尤其是下滑道数据进行回放，教员可以结合视景、LSO、航迹和参数曲线等动态画面对飞行训练进行讲评，帮助飞行员提高精确操作舰载机的技能。

2 系统组成及系统架构

如图 1 所示，着舰模拟训练系统主要由仿真座舱分系统、飞行仿真分系统、视景显示分系统、教员台分系统、LSO 指挥台分系统和音响分系统等组成。

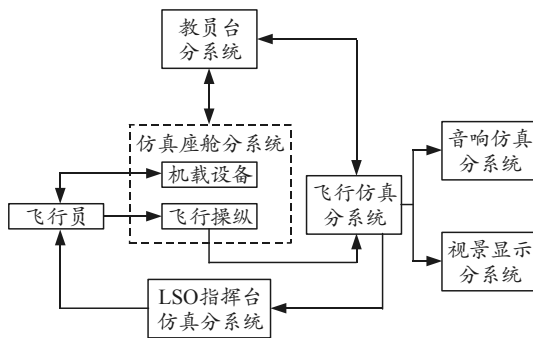


图 1 模拟训练系统结构

飞行仿真分系统根据实时采集飞行员对飞机的横向、纵向的操纵信号，以及对起落架、减速板、襟翼等操作指令，依据当前任务设置和飞行状态，解算飞机模型和碰撞检测模型；视景分系统具有较大水平视场角，完成 3 维环境仿真和仪表系统中的平视显示器画面生成与叠加；音响分系统完成模拟训练中的有关音响仿真；教员台完成任务管理、数据记录，采用数据驱动实现飞行训练过程的仿真再现，为舰载机 FCLP 提供逼真、直观的评判与分析手段；仿真 LSO 指挥台配合飞行员实施 FCLP 专项训练；仿真座舱分系统配置逼真的舰载机座舱机载设备和飞行员操作设备。

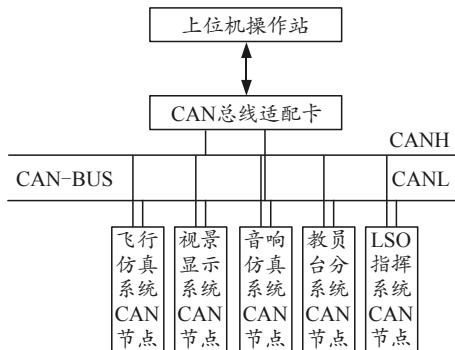


图 2 模拟训练系统控制系统架构

整个模拟系统通过上位机和 CAN 总线连接各分系统，其控制系统架构如图 2 所示。上位机操作站将各分系统的控制节点连接成分布式控制网络，

具有可靠性高、结构简单、可扩展性强^[4]等优点，实现了座舱的机械结构与操纵系统的运动机构信号的采集、处理、控制、人机接口与界面显示，完成座舱环境的仿真。

3 分系统设计

3.1 仿真座舱分系统

3.1.1 飞行操纵系统的仿真

系统采用半开放式模拟座舱和等比例模拟。驾驶杆操纵模拟杆力、杆位移特性，使模拟训练系统的操稳特性和操纵品质与真实飞机基本一致。通过连接杆系将弹簧载荷机构的输出摇臂与中立杆的横向、纵向杆系进行连接，从而对其进行力加载，同时为中立杆横向、纵向载荷筒各提供 4 种刚度系数的弹簧，通过更换弹簧可模拟不同的中立驾驶杆的横向、纵向操纵特性，并提供电动中立调校功能，驾驶杆与方向舵操纵机构如图 3 所示。

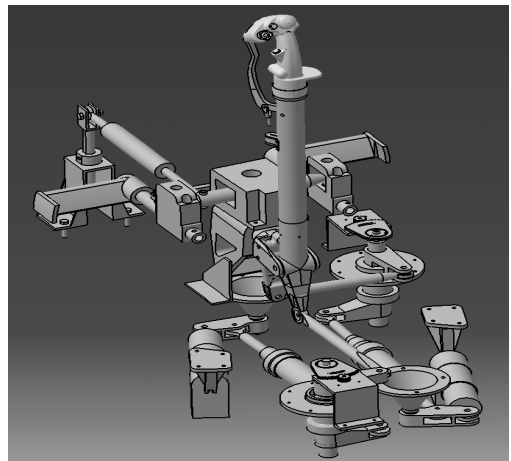


图 3 驾驶杆与方向舵操纵机构

方向舵操纵与驾驶杆操纵一样，也是采用弹簧载荷的方式模拟其操纵特性。

油门操纵系统采用标准某型号的单发油门设计，由油门支架、手柄和钢索滑轮机构组成。

3.1.2 机载设备的模拟

系统需要实时采集仿真座舱仪表板、左右操纵台显示器、开关、按钮、控制器、指示器等机载设备的状态信息，根据飞行状态实时驱动仪表指示与指示灯显示。根据该模拟训练系统的任务和功能，并考虑到系统功能扩展的能力，笔者对座舱内机载设备的主要部件进行功能性仿真。

仿真系统所采用模拟仪表的外观及指标特性均与实装仪表一致。根据仪表的功用和作用原理具体分析仪表的结构和工作机理，设计相应的接口和

驱动电路。计算机输出的模拟量通过接口传递给仪表驱动板上的单片机，将模拟量转换成频率和脉冲等参数，通过放大和驱动电路，控制步进或伺服电机运动，达到仪表仿真的目的。

对于航电系统的仿真，是通过实时采集飞行员的操纵指令，包括多功能显示器周边键、正前方控制板、驾驶杆开关和油门杆开关等状态信息完成模型解算，对航电系统各个任务状态的系统逻辑进行控制，生成并显示多功能显示器和电子飞行指示器的画面。

3.2 飞行仿真分系统

以飞机气动数据为基础，采用六自由度飞行动力学模型实现飞机气动力、气动力矩和动力系统特性的模拟，并充分考虑大气温度、质量、质心等对飞行性能的影响，建立操纵系统、发动机、起落架和减速板等机构的数学模型^[5]。飞行仿真分系统的组成如图 4 所示。

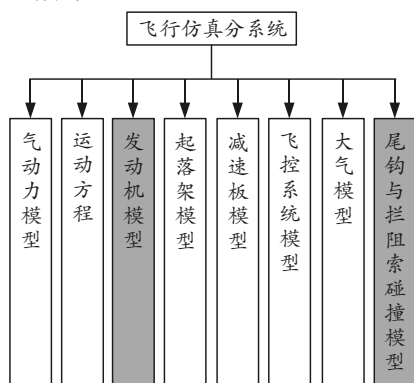


图 4 飞行仿真分系统模型组成

舰载机动力学仿真除了要模拟飞行包解算外，重点需要模拟以下 3 个方面：

1) 模拟尾钩与拦阻索的相互作用。舰载机着陆成功与否，除了要准确控制飞行状态外，尾钩与拦阻索的相互作用也很重要。拦阻索采用柔性物体建模，模拟其在不同变形时的状态，按照尾钩与飞机的相对位置关系，检测尾钩与拦阻索之间的碰撞关系，模拟其相互作用的动力学关系。

2) 精确模拟飞机的发动机响应。舰载机在 FCLP 下滑道阶段进入操纵反区，飞机具有负的轨迹稳定性，要求推力响应快，以适应小幅多次的操作，而且要求发动机加速性能好，以便上钩失败后能够逃逸复飞。

3) 模拟地效对 FCLP 的影响。所谓地效是指地面效应，就是在舰载机 FCLP 训练着舰时，由于地面效应的存在，使得飞机发生“漂移”，无法在预

定着舰点着陆。建立正确的地效模型，使得模拟器 FCLP 专项训练时更为逼真，才能使飞行员建立起正确的飞行感觉。

3.3 视景显示分系统

视景分系统完成 3 维环境仿真和仪表系统中的平视显示器画面生成与叠加。3 维环境仿真采用计算机实时渲染技术，以实像方式产生座舱外景象，包括光学助降系统、地形地貌、拦阻索等，并模拟能见度、气象条件及白天、黄昏、夜晚的景象，使飞行员有身临其境的感觉。

3.3.1 视景显示

飞行员在 FCLP 过程中，在地面要进行开车、滑出和加力，起飞后按照航线要求完成低空低速环绕岸基四转弯的飞行，这就要求飞行员眼点的视景画面能覆盖整个机场。系统采用多台图形计算机完成多通道视景的拼接，实现大视场角的显示。按照仿真座舱尺寸及下视角要求，系统采用 7 个 16:9 液晶屏幕实现 150°水平视场角和 90°垂直视场角的视景，屏幕布局如图 5 所示。



图 5 视景显示系统布局

3.3.2 光学助降系统模型

着舰下滑飞行时，飞行员利用光学助降系统提供的目视光学下滑道指示进行最后进近。但在视景系统中，光学助降系统模型不同于真实的光学设备，不能模拟出瞄准灯向空中投射的光束，只能利用光源模型对光学助降系统的光学特性进行仿真。飞行员要清晰地判断瞄准灯组的光球和基准灯组的相对位置，来调整飞机在下滑道高度上的偏差，这要求视景显示具有较高的分辨率。而液晶拼接屏在分辨率、亮度和对比度等方面均可以满足这些要求，这也是视景显示采用液晶拼接屏方案的另一原因。

在仿真系统中，必须根据光学助降系统工作逻辑，并根据当前飞机状态、高度和位置等相关参数

驱动点亮光学助降系统的信号灯，提供给飞行员进行观察判断。

光学助降系统由瞄准灯(共 5 个灯)、基准灯(两侧各 7 个灯)以及禁止灯(两侧各 9 个灯)组成，图 6 显示了光学助降系统的工作逻辑。飞行员看到第 3 个(从上而下顺序，下同)瞄准灯且与基准灯水平，表示飞机在标准的下滑道上，可以安全着舰；飞行员看到第 2 个瞄准灯且在基准灯之上，表示飞机在标准下滑道以上，需要降低高度；飞行员看到最上方瞄准灯且在基准灯之上，表示飞机远高于标准下滑道，需要加大降低高度；飞行员看到第 4 个瞄准灯且在基准灯以下，表示飞机在标准的下滑道以下，需要拉起；飞行员看到最下方瞄准灯且明显低于基准灯，表示飞机过低，必须紧急拉起，否则存在撞向舰尾或坠海的可能；基准灯熄灭，禁止灯亮时为禁止降落。

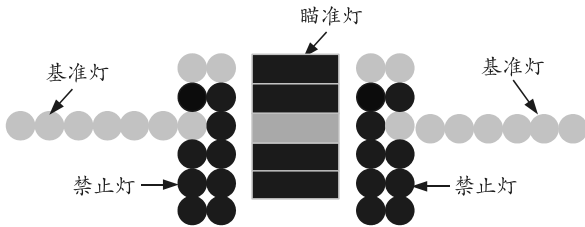


图 6 光学助降系统模型

3.4 音响仿真分系统

音响仿真分系统用于模拟发动机运行、气流、起落架收放、撞击式着陆等产生的音响效果，根据飞行状态，采用音响素材实时合成当前环境声音，并通过扬声器播放^[6]。实现过程如下：

1) 建立音响素材数据库和音响素材特征数据库。前者是音响素材文件的集合，后者记录音响素材的索引、音量、触发条件、播放方式等信息。

2) 读取系统设置参数，确定系统音响的开关及音量。

3) 建立发动机噪声与发动机工作状态间的关系模型，以及其他音响的控制逻辑模型。

4) 读取飞行仿真、综合航电仿真等模块的输出数据后，进行模型解算，实时触发并模拟各种音响输出。

3.5 LSO 指挥台仿真分系统

飞行员驾驶舰载机进行 FCLP 需要 LSO 的配合才能实施，因此 LSO 指挥台仿真分系统是模拟训练系统的重要仿真单元。LSO 模拟显示中线摄像机、引导雷达和 LSO 眼点视景的画面信息；模拟 LSO

指挥室中主要仪表、指示器和控制器的工作方式，从而完成根据下滑状态，由 LSO 通过引导系统向飞行员发布指挥、复飞、关机指令全过程的模拟。

在教员控制台位置设置等比例的 LSO 指挥台，与飞行仿真工作过程相结合，根据真实情况实时驱动 LSO 仪表、指示器的显示，模拟 LSO 的命令发布；模拟 LSO 与飞行员之间的交互方式，达到飞行员与 LSO 协同训练的目的。

LSO 指挥台仿真分系统设置有人工和自动 2 种着舰指挥模式。

1) 人工着舰指挥模式。

这种模式由真实的 LSO 配合飞行员进行训练。LSO 通过观察 LSO 眼点视景的画面信息，参照仿真的中线摄像机判断飞机在下滑道的偏差，利用真实的语音通信给飞行员下达指令，飞行员根据指令进行误差修正。

2) 自动着舰指挥模式。

这种模式由计算机建立 LSO 模型，代替真实的 LSO 对飞行员进行指挥，使飞行员可以单独进行 FCLP。LSO 模型根据飞行轨迹与标准下滑道的偏差、飞行员的熟练程度以及飞机当前的速度、攻角、姿态角、角速度、角加速度等参数进行综合的判断推理，得出飞机需要调整的偏差，转换为 LSO 指令；然后通过自动语音向飞行员播放，完成对飞行员的陆基着舰指挥，具体模型如图 7 所示。

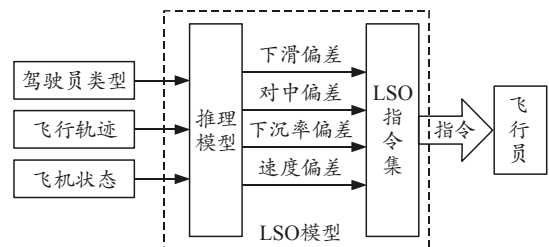


图 7 LSO 模型

3.6 教员台分系统

教员台是模拟训练系统的控制单元，系统所有的任务控制信息都来自教员台，可以实现系统的上电控制、运行状态控制、对系统其他计算机的远程控制，系统运行的实时监视和数据记录与处理等^[7]。其主要功能有：

1) 定制训练任务，内容包括：设置训练科目，且具有自动开车和手动开车 2 种状态；设置飞机初始状态，包括飞机初始位置、初始油量等；设置座舱初始化参数，包括系统自检、设备位置归零和预热等；设置气象条件，包括日照、雾、能见度、风

速、风向等。

2) 控制任务的运行、暂停、重新启动或终止。

3) 采用 GIS 技术显示训练态势，对重要的飞行数据采取曲线进行可视化显示。

4) 记录飞行全过程，用于仿真再现演示，可以在显示飞机姿态和轨迹的同时显示关键仪表的数据信息，并能够通过多视角切换、暂停、快慢放等功能仔细分析飞机的状态变化，直接用于舰载机飞行讲评教学。

4 结束语

在充分考虑舰载机特点的基础上，笔者对 FCLP 的仿真建模问题进行了研究。笔者设计的舰载机 FCLP 模拟训练系统采用通用软硬件平台，注重标准化、模块化和柔性化设计，便于维护、扩充和系统升级完善。该项目已成功应用于舰载机飞行员模拟飞行训练，能有效提高飞行员 FCLP 操纵水平，同时可以帮助飞行员建立舰载机特有的飞行标准化、精细化、精确化流程，对进一步培养和提升舰基飞行意识和文化具有较为重要的作用。

参考文献：

- [1] 海军装备部飞机办公室, 中国航空工业发展研究中心. 国外舰载机飞行培训[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009: 30-31.
- [2] 时绍春. 试论舰载机着舰仿真[J]. 教练机, 2010, 41(4): 79-82.
- [3] 田涌, 邵山, 张雷. 飞行品质模拟器设计[J]. 电光与控制, 2010, 17(6): 89-91.
- [4] 郭洁, 张一飞, 李春芳, 等. 基于 CAN 总线的分布式飞机客舱模拟器控制系统[J]. 自动化与仪表, 2014, 29(12): 26-29.
- [5] 王延刚, 屈香菊. 舰载机进舰着舰过程仿真建模[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(24): 6592-6594, 6598.
- [6] 林亚军, 王述运, 周晓光, 等. 基于 HLA 的某型飞机指挥驾驶模拟器组训系统[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 21-23.
- [7] 熊海国, 何景峰, 马建明, 等. 面向对象的商用飞行模拟机教员台设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(34): 219-223.