

飞机模拟器与 模拟训练

FEIJI MONIQI YU
MONI XUNLIAN

严利华 张 伟 闫景波 姬宪法 任 强◎编著

航空工业出版社

飞机模拟器与模拟训练

严利华 张 伟 闫景波 编著
姬宪法 任 强

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书主要介绍了飞机模拟器的作用、种类和发展,飞行训练模拟器、维修训练模拟器的组成与工作原理、飞机模拟器的性能检测与评估和模拟训练的一般概念与方法,重点对飞机模拟器总体设计,座舱设备仪表,操纵负荷系统,动感、视景、声音仿真技术进行了阐述。

本书较好地体现了飞机模拟器的关键技术和发展趋势。可以作为飞机模拟器的技术开发人员和地勤培训教师的参考书,也可以作为航空专业学生的课外辅导书,可以使他们进一步了解国内外飞机模拟器的情况,丰富知识,拓展视野。

图书在版编目(CIP)数据

飞机模拟器与模拟训练 / 严利华等编著. -- 北京:
航空工业出版社, 2017. 4

ISBN 978 - 7 - 5165 - 1181 - 7

I. ①飞... II. ①严... III. ①飞行模拟器②模拟飞行
IV. ①V216. 8②V323

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 048968 号

飞机模拟器与模拟训练 Feiji Moniqi yu Moni Xunlian

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936597 010 - 84936343

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2017 年 4 月第 1 版

2017 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 8

字数: 177 千字

印数: 1—600

定价: 35.00 元

前 言

现代航空技术发展极为迅猛，各类歼击机、运输机、教练机、直升机甚至民用航空器的系统组成越来越复杂，对飞行人员或地面维护保障人员提出了更高的要求。围绕飞机开展的训练也越来越精细，人员培训周期也越来越长，迫切需要找到一种高效安全的训练途径，利用现代计算机、网络、控制和声光电等技术，研发相应机型的模拟器，走模拟训练之路是当前世界各国普遍采用的解决办法。

本书介绍了飞机模拟器相关的知识，由概述、飞行训练模拟器、维修训练模拟器、飞机模拟器总体设计、座舱设备仪表仿真、操纵负荷系统仿真、动感仿真、视景仿真、声音仿真、飞机模拟器的性能检测与评估、模拟训练概述和模拟训练的实施等12章组成。

本书由空军第一航空学院严利华教授主编，张伟，闫景波，姬宪法，任强参与编写。由于编写水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 飞机模拟器的作用	(1)
第二节 飞机模拟器的种类	(2)
第三节 飞机模拟器的的发展	(4)
第四节 飞行仿真训练系统的关键技术	(11)
第二章 飞行训练模拟器	(17)
第一节 组成与工作原理	(17)
第二节 训练能力	(24)
第三章 维修训练模拟器	(27)
第一节 组成与工作原理	(27)
第二节 训练能力	(30)
第四章 飞机模拟器总体设计	(32)
第一节 飞机训练仿真的任务分析	(32)
第二节 仿真系统顶层设计	(33)
第三节 仿真系统的总体设计	(37)
第五章 座舱设备仪表仿真	(41)
第一节 显示器仿真	(41)
第二节 仪表仿真	(42)
第三节 计算机图形仿真仪表	(48)
第六章 操纵负荷系统仿真	(49)
第一节 概述	(49)
第二节 弹簧式操纵负荷仿真系统	(52)
第三节 液压式操纵负荷仿真系统	(54)
第四节 电动式操纵负荷仿真系统	(56)

第七章 动感仿真	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 六自由度运动平台	(60)
第三节 过载座椅与抖振座椅/座舱	(63)
第四节 抗荷服模拟	(66)
第八章 视景仿真	(70)
第一节 概述	(70)
第二节 视景显示系统	(72)
第三节 视景建模	(74)
第九章 声音仿真	(81)
第一节 概述	(81)
第二节 音响仿真系统	(83)
第三节 语音识别	(88)
第十章 飞机模拟器的性能检测与评估	(93)
第一节 飞机模拟器性能规范	(93)
第二节 飞机模拟器的性能检测与评估	(96)
第三节 飞机模拟器自测试软件	(98)
第十一章 模拟训练概述	(100)
第一节 模拟训练及其发展演变	(100)
第二节 模拟训练的主要形式	(101)
第十二章 模拟训练实施	(109)
第一节 模拟训练的作用	(109)
第二节 模拟训练的内容设置要求	(110)
第三节 模拟训练的标准化组训	(111)
参考文献	(115)

第一章 概 述

驾驶飞机飞行、维修保障飞机和研制飞机，是十分复杂的技术活动。特别是驾驶和维修歼击型、强击型、轰炸型飞机和武装直升机，对飞行人员和航空机务人员的技术要求更为严格。飞机模拟器是一种在地面尽可能真实地再现或模拟飞机驾驶、飞机维修和飞机研制工程试验的系统。飞机模拟器是飞行训练、维修训练和飞机设计必不可少的重要装备。

第一节 飞机模拟器的作用

为了提高训练效率、节省训练费用和保证训练安全，飞机模拟器被广泛应用于飞行员的模拟飞行训练和航空机务人员的模拟维修训练。同世界上发达国家一样，我国已将模拟飞行训练列入飞行员的训练大纲，空军也将模拟维修训练纳入部队年度军事训练计划。可以预见，飞机模拟器在今后的飞行训练和飞机维修训练中将会起到更加重要的作用。

不同种类的飞机模拟器，其作用不尽相同。归纳起来，主要有以下几个方面。

一、提高训练效率

用实装飞机训练学员，往往要受到飞机状况、机场情况及气象条件的制约，而且还要组织一定的指挥、通信、机务人员及场务保障人员参加，效率较低。采用飞机训练模拟器在室内训练，不受气象等条件的影响，也不需要大批保障人员，组织训练十分方便，而且可以长时间连续工作。例如，一架歼击机每年只能飞行 200 h 左右，飞行训练模拟器每年则可工作 6 000 h 以上，每天可工作 20 h 以上。

在模拟器上训练，可对难度较大的驾驶动作和特殊情况处置反复进行练习，也可使学员经常处于教员的直接观察指导之下，充分发挥教员的作用。有的模拟训练系统，一名教员可同时指导多名学员操作，更有效地利用了飞行教员的教学时间，提高了训练效率。

学员经过在模拟器上训练之后，可以减少在飞机上的训练时间。美国飞行训练学院训练飞行员的情况表明，飞行员的改装训练至多只需 5 h 实装飞行，其他全部通过模拟器进行训练。DC-90 飞机的改装训练，每个飞行员在飞机上的平均飞行时间只有 2.1 h。我军某飞行学院试验表明，由于进行了模拟训练，在飞机上带飞次数约减少了 1/5。

有些国家，在新飞机制造出来之前，先用该飞机的模拟器训练飞行员，当飞机配备到飞行部队时，飞行员就可很快地掌握它，从而争取了时间。这一点，在战争时期

更具有特殊意义。

二、节省训练经费

用飞机模拟器训练飞行员，可以节省大量训练经费，这一点是显而易见的。主要表现为：

首先，一台功能较全的飞行训练模拟器，通常都比实装飞机价格低得多，对于大型飞机尤其是这样。例如波音 747 飞机飞行训练模拟器的价格大约只有波音 747 飞机的 1/4。其次，用模拟器训练与用实装飞机训练相比，消耗的费用要低得多。美国总会计局早在 1973 年就发表过一份报告，指出若把 50% 的中间训练和作战中队的飞行训练转移到模拟器上，那么每年就可节省 9.1 亿美元。使用模拟器训练还可节省大量航空燃料，这在当前世界能源普遍紧张的情况下，更具有重要的意义。模拟飞行训练保障过程简单，训练费用与实兵、实装训练相比大大降低，经济效益十分显著。以我军某型号飞机为例，飞行小时训练费用为 23 万元左右。模拟飞行训练小时训练费用为 3 270 元，只有实际飞行小时训练费用的 1/70。按照 1 h 模拟训练相当于 0.6 h 实装训练来折算，该模拟器满负荷运转，每年可节约 4 亿元左右。再次，使用模拟器训练不会对实装造成损耗，有利于保持空军主战装备规模及战略储备寿命。另外，由于模拟训练不需要大量的机务、导航、通信、场务等保障人员，由此而节约的经费也是相当可观的。

三、保证训练安全

保证训练安全，是训练中的头等大事。用模拟器进行训练，就不存在发生安全事故的问题，不会使学员的生命和飞机受到威胁。而且，学员还可在模拟器上反复练习各种故障及紧急情况（如发动机停车或失火）的处理方法。这样，在实际飞行中遇到类似情况，就可临危不惧，减少或避免发生飞行事故，保证飞行安全。

此外，模拟训练还有改善空中交通拥挤状况、减少环境污染等优点。

正因为模拟训练有着无可比拟的优越性，因此世界各大航空公司 60% ~ 85% 的飞行训练依赖于飞行训练模拟器，有的甚至已超过 90%。从发展趋势来看，这种依赖程度还会更高。

第二节 飞机模拟器的种类

飞机模拟器种类很多，从应用领域来看，可以分为飞行训练模拟器、维修训练模拟器和工程试验模拟器。

一、飞行训练模拟器

飞行训练模拟器种类很多，一般按用途进行分类，可分为：多功能型飞行训练模拟器、基本型飞行训练模拟器、专项型飞行训练模拟器三个类型；也可按飞机型号进行分类，如歼击机型训练模拟器、运输机型训练模拟器、教练机型训练模拟器、轰炸机型训练模拟器、直升机型训练模拟器等。这里主要介绍多功能型、基本型和专项型三种不同用途的飞行训练模拟器。

（一）多功能型飞行训练模拟器

多功能型飞行训练模拟器是模拟飞机全部或大部分功能、性能，或某类特定系统的模拟器。在基本战术和战术应用训练课目中，是能为飞行员提供编队飞行、战术机动、中/近距空战等模拟训练能力，具备航空兵部队改装训练阶段的技术基础训练、武器使用和基本战术训练以及战术应用训练功能的模拟器。

（二）基本型飞行训练模拟器

基本型飞行训练模拟器是模拟飞机全部或部分功能、性能，或某类特定系统的模拟器。在技术基础训练科目中，是能为飞行员提供逼真座舱外景和动感，具备航空兵部队改装训练阶段的技术基础训练、武器使用和基本战术训练功能的模拟器。

（三）专项型飞行训练模拟器

专项型飞行训练模拟器是模拟飞机的某类特定系统，为受训人员提供专项训练的模拟器。主要有航空电子系统/武器火控训练模拟器，空中受油训练模拟器，电子战、领航轰炸、航空侦察和精确打击训练模拟器等。

二、维修训练模拟器

维修训练模拟器按用途可分为多功能型维修训练模拟器、基本型维修训练模拟器、专项型维修训练器三个类型；也可按飞机型号进行分类，如歼击机型维修训练模拟器、运输机型维修训练模拟器、轰炸机型维修训练模拟器、直升机型维修训练模拟器等。这里主要介绍多功能型、基本型和专项型三种不同用途的维修训练模拟器。

（一）多功能型维修训练模拟器

多功能型维修训练模拟器是通过模拟座舱等训练装置、结合模拟训练软件，为受训航空机务人员提供全专业多功能模拟维修训练的模拟器。该类模拟器通常提供以下训练功能。

1. 维修检测模拟训练。
2. 故障隔离模拟训练。
3. 绕机检查模拟训练。
4. 部件位置识别训练。
5. 部件拆装模拟训练。
6. 地面勤务模拟训练。

（二）基本型维修训练模拟器

基本型维修训练模拟器是以飞机的通电检查过程和故障现象为主要模拟内容，为受训航空机务人员提供发动机试车、飞机各系统通电检测以及故障判断等训练的模拟器。

（三）专项型维修训练模拟器

专项型维修训练模拟器模拟飞机的某类特定系统或某类维修训练内容，为受训航空机务人员提供专项维修训练，如试车训练模拟器、军械火控维修训练模拟器、航电系统维修训练模拟器、维修程序训练器等。

三、工程试验模拟器

工程试验模拟器是根据飞机设计的验证需要,把设计概念转变为系统样机过程中的一种模拟器。工程试验模拟器可以把许多设计问题暴露在样机生产和试飞之前,按用途可分为地面工程试验模拟器和空中飞行训练模拟器。

(一) 地面工程试验模拟器

地面工程试验模拟器是飞机设计研制的重要工具。地面工程试验模拟器在飞机设计研发试验中能提供一个简洁合理的人机界面、安全有效的试验数据记录功能。通过地面工程试验模拟器可以及早发现问题,减少风险;对机载系统进行综合验证,解决各系统之间的动态匹配问题;加速系统试验过程,缩短研制周期;分析解决飞机试飞后发现的技术问题;使飞行员及早参与飞机的设计研制工作等。以使设计出来的飞机上天后足够安全,并能满足性能设计要求。

(二) 空中飞行训练模拟器

空中飞行训练模拟器是一种借助变稳电传系统和可变人感系统达到改变基本飞机(简称本机)的飞机动力学特性、稳定性与操纵性的空中飞行试验平台。它能够实现单自由度到六自由度的飞行模拟。当飞行员驾驶模拟器飞行时可以在真实飞行环境中感受被模拟(研究)飞机的运动状态和飞行操纵品质,从而获得比地面飞行训练模拟器更逼真的模拟效果。

通常,空中飞行训练模拟器是由本机改装而成的,当然亦有专门设计的。改装后的试验机(即变稳飞机)具有前、后两个座舱。前舱为模拟飞行员座舱,又叫试验驾驶舱。后舱为安全监控飞行员座舱,简称安全监控舱。空中飞行训练模拟器同地面飞行训练模拟器的最大差异在于,它可以在空中实际飞行环境下大范围地改变飞机控制系统参数及飞机运动参数,给出飞行员真实飞行视景、飞行过载和外部其他环境感觉。

目前,部队训练主要使用的是飞行训练模拟器及维修训练模拟器,而以研发为目的工程试验模拟器使用较少。因此,本书以飞行训练模拟器及维修训练模拟器为主进行介绍。

第三节 飞机模拟器的发展

随着科学技术的进步和飞机研制技术的迅速发展,飞机模拟器也在不断向前发展。本节主要介绍飞机模拟器的发展历程、发展趋势以及飞行仿真系统的发展过程。

一、飞机模拟器的发展历程

飞机模拟器是随着飞机发展而不断发展起来的,其发展过程大致可分为三个阶段。

第一阶段是机电模拟阶段,即飞机模拟器的初级阶段。这一阶段是从20世纪20年代末期开始的。由于模拟水平较低,通常称为飞行练习器。早在1929年,美国爱德华·林克就设计出第一台机械气动式的飞行练习器。它仅能训练飞行员怎样使用仪表和保持平飞,1935年开始被正式用来训练飞行员。第二次世界大战开始

后,飞行练习器取得了较大的发展,由爱德华·林克设计的简单机械练习器逐步发展为具有较复杂的机械电气装置,并能进行粗略计算的飞机模拟器,其应用范围也扩大了。

第二阶段是电子模拟阶段,即飞机模拟器的中级阶段。这一阶段是从20世纪40年代末开始的。1949年出现了第一台用电子模拟计算机控制的飞机模拟器。这类模拟器的模拟设备相当完备、复杂。除了较逼真地模拟座舱各种仪表及有关设备的工作外,还采用幻灯、电影甚至闭路电视来模拟座舱外部的视觉景象。另外,有的模拟器座舱还装有运动基座,使座舱具有两个自由度(俯仰和倾斜)或三个自由度(俯仰、倾斜和偏转)。由于不断采用新技术,模拟器的模拟效果越来越逼真。

第三阶段是数字模拟阶段,这是模拟器的高级阶段。这一阶段是从20世纪60年代初期开始的。1963年美国林克公司生产了第一台数字电子计算机式的波音727飞机模拟器,从此以后,随着大、中型数字电子计算机及微型计算机的飞速发展,数字式飞机模拟器也得到了迅速地发展。数字计算机以及其他新技术的使用,使得飞机模拟器的功能大为增强。不仅使各种座舱设备的模拟精度大为提高,而且还出现了大视场角的计算机成像视景系统,六自由度、大活动范围的座舱运动平台,多通道的过载座椅与载荷服,以及逼真的音响模拟设备。飞机模拟器从原来的主要练习基本飞行驾驶技术发展到现在可以练习复杂的特定飞行、空中射击以至双机空战,有的飞机模拟器已具有诸如故障诊断、自动评定飞行练习的成绩等人工智能作用。

我军飞机模拟器的研制工作起步较晚,20世纪60年代一直在仿制国外机电式的仪表飞机模拟器,70年代开始自己设计并大批生产各型飞机的机电仪表飞机模拟器,同时开始研制用数字计算机控制的飞机模拟器。1983年,我国研制成功第一台小型计算机控制的带有闭路电视视景系统和三个自由度运动平台的歼击机飞机模拟器,1984年研制成功第一台用微型计算机控制的便携式仪表飞机模拟器。此后用微机控制的各种类型的飞机模拟器相继出现,1986年又研制成功多通道、大视场角的二维计算机成像视景系统。这一切表明,我国研制的飞机模拟器,与世界先进水平的差距正在缩小。

二、飞机模拟器的发展趋势

随着仿真技术的发展和模拟训练内容的深化,要求模拟器不仅能满足飞行员的训练需求,还要具有功能拓展的能力。分析国内外模拟器发展情况,现代飞机模拟器的发展趋势包括分布式任务训练功能及工程试验模拟一体化等。

(一) 分布式任务训练

高技术条件下的局部战争是多军兵种的联合作战,空军将在其中担当极为重要的角色。为应对未来战争,除单兵种、单武器平台训练外,还需要从联合作战角度进行多兵种、多武器平台的协同与配合。如果用实兵、实装训练,不仅费用高、周期长、组训难,而且由于缺乏真实的“作战对象”和“战场环境”,往往难以获得理想的效果。

为有效解决这一问题,外军普遍采取了计算机网络技术,把各个单一的模拟系统或模拟器连接起来,构成分布式任务训练(DMT),进行一体化模拟训练,从而在系统集成中实现战斗力的整体提高。

分布式任务训练(DMT),用于无约束的人在回路训练和部队在合成战场中联合预演。DMT是指由实况仿真、虚拟仿真和结构仿真共同组成的共享性训练环境,受训者以个体或团体的方式进行各种层次的作战训练。例如,不同的受训者可以在不同的地点进行同样的训练,也可以进行内容完全不同的训练;可以自己独自地进行自行选定的项目训练,也可以进行团体间的对抗训练,即军事演习。在DMT环境下,受训者可以使用网络提供的任何一种武器或场景,实时互动地模拟各种复杂局面,逼真地展示各种可能发生的实战情形,从而为各军种从各自的专业领域或实际部署地参加综合演练创造了条件。所有这些,都有助于形成按需提供、实际自然的训练环境,并极大地打破资金、政治地理、实际技术条件以及组织调度等环节的限制,提高训练的有效性,减少与实战之间的差异。

网络技术及相关标准协议是分布任务训练(DMT)的中枢,经过10余年的发展,高层体系结构(HLA)已被公认是能够满足复杂系统仿真,实现异地互联的先进分布式仿真体系结构。它可以实现多种类型仿真系统间的仿真与命令、控制、通信、计算机与智能系统的交互。HLA能提供更大规模的,将构造仿真、虚拟仿真、实况仿真集成在一起的综合环境,实现各类仿真系统间的互操作、动态管理、多点通信、系统和部件的重用,以及建立不同层次和不同程度的对象模型。

一套典型的分布交互仿真体系主要包括若干仿真程序(如涉及空军的飞行员操纵环境、威胁工作站、视觉系统、战术环境以及由教官/学员工作站控制的其他系统等),在HLA中称为联邦成员,联邦成员之间通过网络进行交互。所有参与仿真的联邦成员和网络称为联邦。

“按照战斗中拟用的方式进行训练”是开发分布式任务训练系统的总体指导思想。它意味着训练是战争在和平时期的一种体现,训练系统必须真实地展现战争的全面性和综合性,而不能仅限于个别系统的单独模拟。从这个意义上讲,分布式任务训练代表现代和未来军事训练的总体发展趋势。

(二) 工程试验模拟一体化

现代飞机的系统愈来愈复杂且相互交联,采用的新技术愈来愈多且技术跨度很大,遇到的新问题也愈来愈难且复杂。为了适应不同工程试验模拟任务,节省研制费用,必须走工程试验模拟一体化的路子。

工程试验模拟一体化主要包括:地面模拟器试验-试飞,飞机在回路中模拟,地面模拟器-空中模拟器,空中模拟器-试飞。这种空-地联合一体化就是把非实时模拟、实时全软件模拟(人在回路)、硬件在回路中模拟和飞机在回路中模拟有机结合起来。一体化的模拟技术主要是综合利用,使新概念的发展、新系统的评定、新型号的研制更快、更经济、更有成效。同时研究不同试验手段的相关性,包括任务相关性、结果相关性、参数相关性和评定标准相关性。

三、仿真系统的发展趋势

(一) 全功能、全任务、全天候和全方位的单机作战仿真系统

为使现代飞机形成强大战斗力,必须开发单机仿真系统。这种单机仿真系统除完成基本驾驶术、特情外,重点开发火控、火器、电子对抗及信息战设备的使用。在这种仿真系统中,可动用各种经典或现代化的定量分析方法,借助于现代仿真技术与计算机等先进的电子设备,对现代飞机作战过程的有关战术动用、策略选择、新武器装备的战法及空战指挥决策等问题进行定性和定量的分析,从而为现代飞机作战、训练、战法研究等提供辅助决策和必要的技术支持。

随着虚拟现实技术的发展,飞机模拟器仿真系统的发展经历了由低逼真度到高逼真度、由技术型(基本驾驶术、特情处置、火控使用)上升到战术对抗型和具有虚拟战场的作战演练型,主要有以下特点。

一是仿真环境的立体性。现代飞机作战仿真的建模和显示都应在三维或多维坐标系中进行,其战场描述范围具有立体性。

二是作战方式的多样性。现代飞机作战所涉及的武器类型、数量以及作战单位有其自身的特殊性,其交战方式包括空对空、空对地、地对空等。

三是战术与技术的密切性。随着电子技术、隐身技术、精确制导技术、空空导弹技术的飞速发展,空战的观念、形式和战术都发生了很大变化。这种变化决定了作战仿真训练需要解决两个方面的问题:一个是如何把航空武器装备技术上的优势转化为战术上的优势,使其变为真正的战斗力,即所谓的技术向战术转化的问题;另一个是技术相对落后的一方如何“扬长避短”,运用合理的战术来弥补技术上的差距,从而“以劣胜优”,这就是战法研究的问题。

四是定量分析的复杂性。空战仿真需要对飞机的机动、空战动作的选择、构成攻击条件的判断等进行详细的描述。各种精确制导武器的仿真涉及弹道学、攻击区理论、射击误差和命中精度分析等多种定量分析方法。

在单机仿真系统中按照功能和逼真度可分为全任务型、任务型和对手型三大类。

1. 全任务型。

全任务型仿真训练系统可以为飞行员提供改装训练、技术提高训练、特殊情况处置训练、综合战斗科目训练、战术训练和战术的应用研究与开发等,任务覆盖率大于90%。具体可划分为技能和作战两大训练任务。

(1) 技能训练。

技能训练除了保证基本驾驶术训练外,视距空战、超视距空战、对地攻击、密集编队、机群协同作战、空中受油、超低空、复杂气象飞行及特情处置也作为主要训练任务。

(2) 作战训练。

作战训练是指运用各种经典或现代的定量方法,借助飞行仿真系统等先进的电子设备,对现代飞机作战过程的有关战术运用、策略选择、新武器装备的战法及空战指挥决策等问题进行定性和定量分析,从而为现代飞机作战、训练、战法研究等提供辅

助决策和必要的技术支持。

为完成这两大任务，全任务型飞行训练仿真系统不仅要具有较强的功能，还要为受训人员提供各种逼真的训练氛围。为保证仿真系统围绕该中心目的设置软件、硬件环境，作为全任务型的飞行训练仿真系统，应具有座舱系统、仿真解算系统、主控系统、全视野的视景系统、较逼真动感系统、人感系统、自动驾驶系统、电子对抗系统、火控系统、音响系统、诊断系统和智能化教员指挥台等，这样才能为飞行员提供一个逼真的训练环境和良好的训练氛围。

2. 任务型。

由于全任务型仿真系统价格昂贵并且规模较大，搬迁难，不易全方位配发到作战部队和跟随作战部队使用，因此，需要使用有针对性的任务型（单任务和多任务）模拟器。这种模拟器主要有两方面的作用：一是关键设备的训练使用；二是作战环境的预演。使用这种任务型模拟器可以使受训人员熟悉新装备的操作使用技巧和作战性能，并可以通过“机上演兵”的形式来研究和确立新装备的作战使用方法。例如：波黑战争期间，美军利用先进的计算机技术，将高分辨率卫星图像与波黑战场数字地图相结合，生成一种逼真的战场仿真环境，飞行员首先在这个合成环境中演练，熟悉预定飞行路线以及作战目标的特征，从而使美国空军只须出动原定飞行架次的 50%，就可以摧毁预定目标。

任务型模拟器具有仪表飞行训练、火控系统仿真、电子武器仿真等功能，其系统的总体结构可以根据需要对全任务型进行简化。

3. 对手型。

对手型模拟器是一种简易的火控武器训练器。通常与主模拟器联机形成智能化的近距目标和超视距目标，还可以构成简易的多机对抗空战模拟训练环境，也可以单独用做武器系统设备的辅助训练。这类仿真设备硬件简单，可以模拟多机种，例如，可以根据需要模拟“幻影”2000-5、F-16 飞机等。

对手型具有简易的驾驶和火控操纵设备环境，必要的座舱显示系统和视景系统环境。

（二）多机空战对抗仿真系统

战争从战略、战役到战术就是一种全面的综合能力的对抗。现代战争中，信息化的应用使空战对抗变得更为复杂。为提高飞行员的对抗作战能力，提高其在复杂危险环境下的心理素质，需要开发多机空战对抗型仿真系统。据美军统计，从未参加过实战的飞行员，在首次执行任务时生存率只有 60%，经过计算机模拟对抗训练后，生存率可以提高到 90%。

多机空战仿真系统是由多台对应飞机型号的仿真器和必要的电磁环境以及教员指挥系统构成。鉴于目前的先进战机大都是两机编队为一个作战小组，进行超视距和视距内各种飞行机动、电磁信息、电子对抗和武器对抗，空战对抗仿真系统可以设计成 2 对 2 模式，即由四机构成的双机对抗，其他附加的各类武器（包括飞机）可以采用计算机兵力生成的技术。一套多机对抗仿真系统的效果结构图如图 1-1 所示。

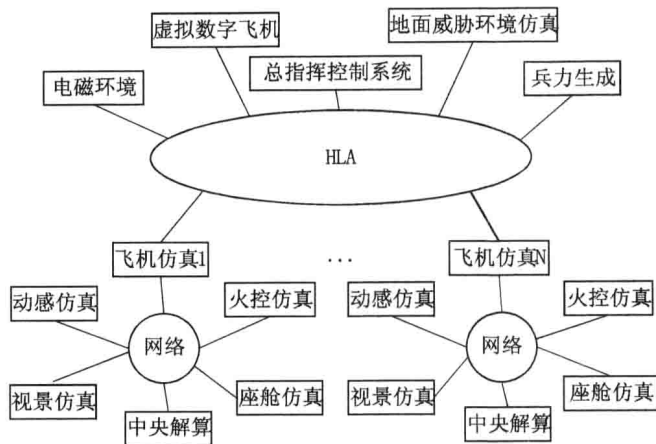


图 1-1 多机空战仿真结构图

高质量空战对抗仿真系统是非常复杂的，一是要有相应的高性能单机仿真器；二是需要对目前的许多技术进行重大改进并突破一些新的技术难点，主要包括以下几个方面。

1. 通用仿真软件平台，以便于联网形成体系作战训练。开发一套运用高新技术、基于网络化、适应不同机型飞机、具有全任务仿真功能的通用仿真软件平台是飞行仿真的一个重点发展方向。

2. 标准化的空战通信协议。空战时各仿真系统单独解算，相互之间的通信信息量随着环境的复杂程度增加而增加，且随战场态势变化而有所变化，为使整个系统稳定可靠地工作，必须制定出标准化的空战通信协议。

3. 全系统网络延迟。作战飞机仿真系统是人在回路的仿真，最大的难题之一是全系统的延迟，战役级的延迟一般要求在 6 s 左右，但作战飞机对抗仿真系统最大延迟不能超过 30 ms。

4. 各种电子对抗仿真模型的开发。空战对抗首先进行的是电子对抗，良好的电子对抗模型和对抗解算模型是空战对抗的关键技术。

5. 各种导弹等武器的效能分析仿真模型。空战对抗仿真必须开发精确弹道模型和毁伤效能模型，这样才能真实反映对抗的效果。

6. 统一的随作战时间变化的动态视景数据库，人在虚拟环境的仿真。将各分散地域的军事仿真系统、计算机系统、训练环境产生器和有关设备连接为一个整体，形成在空间和时间上相符合的虚拟电子作战环境，参训人员不再只是局限在单独的人在回路仿真，而是处于一个多武器、多兵种的虚拟体系环境（这些环境包括战场环境和任务环境），在这个虚拟环境中，可以进行体系对抗演练。

（三）作战单元仿真系统

现代战争是一体化作战，是围绕统一作战目的，以各种作战单元、作战要素高度融合的作战体系为主体，充分发挥整体作战效能，在多维作战空间打击敌方的军事行动。作战单元系统仿真训练，通常采用实装系统与仿真系统相结合，依托一体化通信

网络,将各种要素实施编组和部署,组织集中或异地分布式联网训练。一般可按照力量部署训练、分环节训练、连贯演练三个步骤进行。力量部署训练,就是根据演练条件,将各受训要素按一体化联合作战的要求进行作战编组、任务区分和实际部署,构成一体化作战要素。分环节训练,就是按作战流程和行动关节点,合理划分若干训练环节,分段组织实施训练,为连贯演练奠定基础。连贯演练,就是按演练课题连贯实施,训练重点是各个环节的相互衔接与融合。作战单元训练系统的构成可以根据部队的编制和任务需求进行配置,包括情报信息仿真、指挥控制仿真、联合打击仿真和综合保障仿真。作战单元仿真系统构成如图1-2所示。

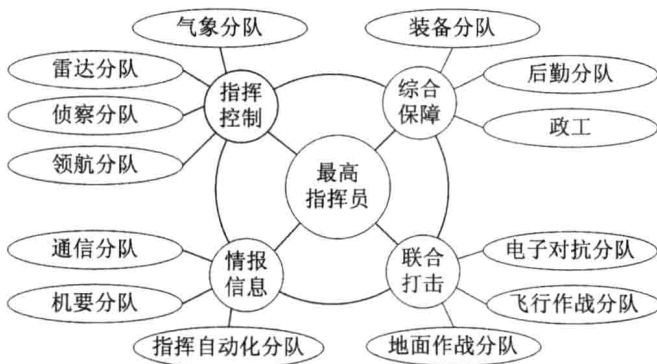


图1-2 作战单元仿真系统构成

1. 情报信息仿真。

情报信息仿真完成对各类作战信息的探测、传输、处理和分发训练,实现战场信息流动和信息传输的无缝链接,实时准确地生成战场态势图,并从信息的有效分发与使用中获得行动优势。

2. 指挥控制仿真。

指挥控制仿真完成战场态势实时共享、分布式任务规划与协调决策、实时作战评估等内容训练,实现各种指挥控制信息的顺畅流动和实时的指挥控制。

3. 联合打击仿真。

联合打击仿真将作战单元所辖分散配置的火力、兵力最小作战单位,按照任务和作战要求集成为一体化打击系统。通过情报、指挥、打击一体化训练,作战行动自主式协调训练和打击力量快速重组训练,围绕战场需求和打击效果,实现打击力量的随机组合和精确打击。

4. 综合保障仿真。

综合保障仿真将作战单元或体系后方指挥所,直属及下辖后勤、装备保障实体融合在一起,载入数字化信息保障系统,构成一体化综合保障系统。

通过战场保障信息获取、综合保障态势图生成和分发、快速物流配送等内容训练,实现实时、精确、动态的一体化保障。

作战单元仿真系统的主要目的是:完成各相关部门如飞行员、指挥员、作战、情

报、通信、机要、领航、飞行管制、气象、雷达等业务参谋，以及政治、后勤、装备等人员的综合训练；共同完成重大的作战任务，例如，进攻、防空、空对空、地对空、空降、电子、网络对抗等作战训练。

（四）作战指挥仿真系统

自古举兵兴师，胜败系于将帅。正因为指挥员及其指挥机关所组成的指挥系统是军队的灵魂和命脉，因此，敌我指挥系统对抗成为双方对抗十分重要的组成部分，各方都试图首先瘫痪甚至摧毁对方的指挥机构。随着计算机技术及一系列相关高科技的发展，指挥训练手段已从沙盘、实战演习、半实战半模拟演习，向纯模拟演习方向发展。研制指挥训练模拟系统对促进军事训练手段的现代化，作战指挥研究的科学性和指挥人员的快速高质量培训都有着十分重要的意义。作战指挥仿真系统包括指挥员训练系统及指挥机构保障系统。

1. 指挥员训练系统。

指挥员训练系统训练指挥员的战前布兵能力、作战中紧急状态的应变能力。

2. 指挥机构保障系统。

指挥机构保障系统训练指挥机构关键人员在战争中出现紧急情况时的对策应变能力。

作战指挥仿真系统主要是双边对抗训练。这种训练在教员的总导演下，训练红方单个指挥员与蓝方单个指挥员之间的对抗，以及红方指挥班子对蓝方指挥班子的对抗。通过这种形式对单个指挥员的作战方案、作战指挥艺术等作战行为进行考核，以及对双方指挥班子的作战谋略、作战效能进行评估。作战指挥仿真系统的主要构成框图如图 1-3 所示。

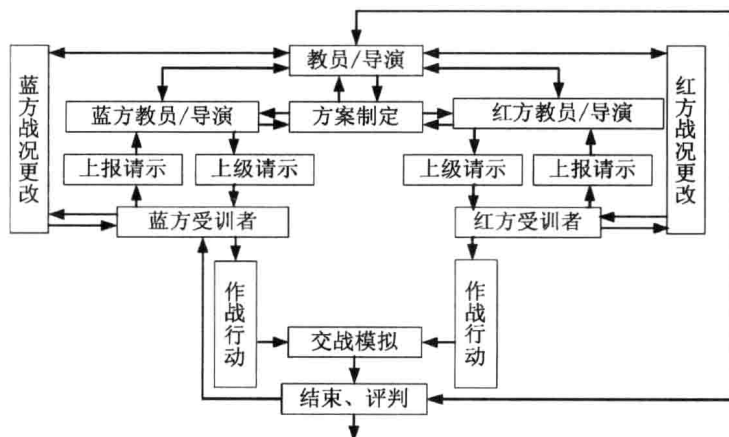


图 1-3 作战指挥仿真系统构成图

第四节 飞行仿真训练系统的关键技术

系统仿真以专业学科理论、控制理论、相似理论、系统理论、信息处理技术、计算机技术等多种学科理论为基础，集成和融合了计算机、网络通信、图形图像、多