

第1章

概述

1.1 模拟飞行概述

模拟飞行的历史可以追溯到 20 世纪初。1929 年,美国人艾德温·林克发明了林克飞行模拟训练器,这部机器具备一个气动平台,可以完成俯仰、滚转与偏航等飞行动作,上面设有一座模拟驾驶舱。该设备问世以来,一直没有受到专业飞行界的关注,但在发生一系列仪表飞行事故后,美国陆军航空队于 1934 年购买了四套林克训练器进行训练,飞行模拟产业从此诞生。如今,在民航飞行训练中,飞行训练器(flight training device,FTD)和全动飞行模拟机(full flight simulator,FFS)等都是被局方认可的设备,可以计入飞行员的飞行经历。此外,安装在计算机上的模拟飞行软件也得到了长足的发展:它通过计算机软件及外部硬件设备将真实世界飞行中遇到的各种元素综合在计算机中进行仿真模拟,并通过外部硬件设备进行飞行仿真操控以及飞行感官回馈。2005 年,我国模拟飞行项目正式在国家体育总局立项。模拟飞行对于初始训练阶段基本驾驶术的养成以及后期进阶、高阶等级基本驾驶术的提升训练有很大帮助。在初始训练阶段,由于训练时间紧迫,加上对驾驶舱环境不熟悉,学员在真机或 FTD 上通常不能得到有效训练。作为飞行员操作技能生命周期的起点,飞行学员在航校进行飞行训练时打好牢固基础并掌握基本驾驶术至关重要。但是,由于资源有限,学员人数众多,训练大纲中设定的模拟机训练时间往往不足。以全球办学规模最大的飞行类院校中国民用航空飞行学院为例,在学员进行 13 小时飞行筛选前,大纲规定的 FTD 课程只有 2 小时,课程内容为座舱实习和程序练习,而筛选的检查项目中却包含了正常程序、空域进离港、空域科目、起落程序、五边修正、落地方法、应急情况处置等。如果学员想在真机训练前预习课程并在飞行后及时纠正飞行中存在的问题,仅仅依靠大纲中安排的 FTD 课程训练是远远不够的。如果想要轻松通过筛选,就需要学员在进行地面准备时花费更多的时间熟悉程序,并在飞行结束后对当天的训练内容加以巩固。这时,如果可以合理利用一些模拟飞行设备,那么学员在地面上的学习将会事半功倍,而且模拟飞行对场地和设备的要求较低且不计入训练总时间,学员在心态较为放松的情况下可以更好地熟悉设备和训练注意力分配,积极主动地感受飞行,这对飞行学员养成飞行思路和逻辑、构建良好的情景意识可以起到积极的作用。模拟飞行对初始训练阶段和后期训练阶段的飞行学员都有很大帮助。当飞行训练进入后期阶段,尤其是在单发商照学员以累积机长时间为目的进行训练

时,对于基本驾驶术的要求就不能只停留在基础和进阶等级了。学员需要在任何情况下都能够正确判断飞机状态,并且采用正确的方式控制飞机,这就需要基本驾驶术达到高阶等级。高阶等级的基本驾驶术要考虑飞行性能和飞行包线,遭遇特殊情况才会展现,此时飞行员不再靠本能去操纵飞机。例如,螺旋、低空风切变、复杂状态、飞机结构受损、操作系统受损等非正常情况均需用到高阶等级的基本驾驶术。在高阶等级的基本驾驶术养成中,气动模型优良的模拟飞行软件就能够提供很大的帮助,这类软件可以选择各种机型、天气和故障类型,灵活性更强。

随着中国航空运输业的稳步发展,同时伴随国产飞机的下线,将需要大量的飞行员来保障国产飞机的安全运营。2015年11月29日,中国首次按照国际民航要求自行研制、具有完全自主产权的新一代喷气式支线客机ARJ21-700正式交付,这标志着我国拥有了第一款可以进入航线运营的喷气式客机,也是中国第一架同时追求技术与商业成功的先进喷气式支线客机。从2003年9月25日ARJ21-700飞机型号合格审定开始,到2015年11月29日正式交付给航空公司,12年零2个月的时间,经历了52项极端气象条件试验试飞、54项美国联邦航空局MOA项目审查(MOA,即Memorandum of Agreement,是根据美国的法律法规,在中国签署中美双方民用航空双边合作协议之前,对中国民用航空局(CAAC)的机构、体系、法律、规章、适航审定能力进行全面深入的评估)、398条适航审定适用条款、3418份符合性验证报告、8220次失速试飞、30748 km环球试飞等,从立项、设计,到试制、试飞,再到生产、交付,几乎每一步都是中国民用航空工业的第一次。失速试飞一直是商用飞机风险最高的试飞科目。适航规章要求商用飞机有满意的失速特性来保障飞行安全,有尽量小的失速速度来提高飞机的经济性能。ARJ21-700飞机用了8220次失速来寻找“安全性”和“经济性”的最佳平衡点,成功地解决了飞机在失速气动设计以及失速适航验证等诸多方面的难题,是中国首次按照商用飞机适航标准完成的失速试飞。试飞团队用自己的敬业精神和使命感挑战云端,诠释了什么才是驾驶舱里的最高职责。在全机静力试验中,全机用于采集数据的应变片数量达到上万片。实时监控应变数据能够反映结构受力大小、传力特点和完整性,降低试验风险。在全机稳定俯仰2.5 g静力试验中,机翼承受最大载荷时翼尖位移达到1.8 m。测试中,全机工况5项中的4项全部做到了极限载荷。全世界没有任何一架飞机在全机静力试验中,所有的工况做到了极限载荷,也没有哪一架飞机像ARJ21-700静力试验机这样,承担了如此繁重而严酷的试验任务。对于ARJ21-700飞机型号合格审定审查组的成员来说,ARJ21-700飞机398条适航审定适用条款的背后,体现的是中美两国在商用航空领域近百年的差距,这既体现在适航审定技术上,也体现在体系上,更表现在观念上。而对于ARJ21项目的申请人来说,300项验证试验、285个表明符合性试飞科目、33本试飞大纲以及厚度高达30 m的3418份符合性验证报告,这些数字的背后意味着要填补国家在商用飞机研制领域的技术空白,经受意想不到的挫折与挑战。几乎每一分钟,被誉为锻造中国之翼的“刀尖舞者”的试飞团队都在用生命创造着零的突破;在2942个试飞驾次中,每一次起飞都是逼近危险边缘的探索,既要保证飞机与自身的安全,又要获得设计人员满意的试验数据,而每一次着陆都填补着中国商用飞机适航审定试飞技术的空白,也为中国商用飞机适航审定体系的完善与发展留下新的坐标! AR21-700飞机的研制,不仅攻克了鸟撞试验、全机高能电磁场试验、闪电间接效应防护试验等一大批重大试验课题,掌握了失速、最小离地速度、自然结冰等一大批关键试飞技术,掌握了一大批新技术、新材料、新工艺,而且积累

了重大创新工程项目的管理经验,探索出了一条“自主研制、国际合作、国际标准”的民机技术路线。

ARJ21、C919 以及 CRJ929 是全新的机型,未来这些新机型将加速进入市场,这对于我国的飞行员培养来说是一个不小的挑战。而飞行模拟设备又是民航飞行人员训练的关键要素之一,目前,我国民航飞行员的模拟机训练标准高于国际民航组织规定的相关标准,每人每半年需要在模拟机上完成一次复训,需要完成训练大纲规定的模拟机训练科目;而初始改装飞行员更是需要在飞行模拟机上完成数十小时的训练,从而掌握相应型别飞机的驾驶技能。对于刚进入大学的飞行学生而言,除了必要的理论知识,模拟飞行训练也是学习的重要部分。模拟飞行的学习可以使学生掌握基本的飞行技能,起到与真飞机训练之间的衔接作用。毫无疑问,飞行模拟设备的使用,在很大程度上可帮助飞行人员提高训练水平。

作为全球民航职业飞行员培养规模最大、在世界民航领域有着较高影响力的高等学府,为了更好地服务于民航飞行员的培训工作,中国民用航空飞行学院于 2002 年开设“模拟飞行训练”课程,该课程共培养了约 2 万名飞行技术专业、航空心理专业本科生和交通运输专业研究生。此外,基于该课程开展了空地一体化模拟飞行环境建设、相关课程体系建设、模拟飞行仿真系统研究、飞行训练教学模式提升等。通过该课程的学习,学员们的安全意识和程序意识都有了明显提高,在真机上重复发生的问题越来越少,基本能做到把每次飞行暴露出来的问题都在地面上解决,真正做到了“地面苦练,空中精飞”。通过模拟飞行,训练器和真机资源不足的问题得到了有效缓解,教学方式得到了革命性的创新和拓展。

模拟飞行以培养和考查飞行综合能力、提升和检验正确飞行理念为目标,与当前飞行训练改革中关键的核心——胜任力相一致。对于飞行员来说,胜任力可被理解为履行职责、保障安全所需的最低可接受的能力标准,涉及理论知识、飞行技术、程序掌握、身体素质、驾驶舱资源管理等多个方面,而模拟飞行可以让飞行学员更加灵活地学习、掌握、运用复杂的专业技能,从而夯实基础,为中国培养出更多优秀的航空后备人才。

1.2 飞行模拟训练设备介绍

飞行模拟训练设备指飞行模拟机或飞行训练器。飞行模拟机是包括运动系统的,飞行训练器是可以没有运动系统的。如果在实际训练中使用的飞行模拟机和训练大纲均符合相应要求,则可以用飞行模拟机全部或者部分代替真机,来完成相应的动作与程序。如在初始训练中,发动机开车前检查、起飞前检查以及飞行中常见的动作与程序等可在训练器上进行;某些情况下的发动机失效、复杂状态改出等可在模拟机上进行。

1.2.1 飞行模拟机

飞行模拟机是指用于驾驶员飞行训练的航空器飞行模拟机。它是按特定机型、型号以及系列的航空器座舱一比一对应复制的,它包括表现航空器在地面和空中运行所必需的设备和支持这些设备运行的计算机程序、提供座舱外景的视景系统以及能够提供动感的运动系统(提示效果至少等价于三自由度运动系统产生的动感效果),并且最低满足 A 级模拟机的鉴定性能标准。飞行模拟机通过电子计算机的建模运算,在地面上最大限度地逼近飞机

真实的飞行状态,从而给飞行员营造一种全方位、多知觉、多飞行状况的真实操纵感。飞行模拟机划分为 A、B、C、D 四个等级,模拟机等级要求的性能排序为 $D > C > B > A$ 。其中,D 级模拟机性能最高,可覆盖 90% 以上的飞行训练科目,是目前最先进、最完整的飞行员训练设备,可替代真实飞机开展飞行训练。

飞行模拟机一般是由仿真控制台(飞行员驾驶舱)、仿真计算机、仿真环境、飞行员共四部分组成的一个封闭反馈系统,如图 1-1 所示,其核心和难点在于仿真计算机,该部分的飞行动力学数学模型、系统模型、仿真环境模型、外干扰模型在经计算机求解后,通过运动系统、视景系统、音响系统给飞行员营造一种多维感知信息的仿真环境,从而让飞行员感觉到自己犹如在空中真实操纵“飞机”一样。各主要系统简述如下:

(1) 模拟座舱: 应根据需求选择与特定型号飞机一样的布局。模拟座舱内的仪表系统实时指示或显示各种飞行参数和系统参数。

(2) 音响系统: 给飞行员提供各种音响效果,如发动机噪声、气流噪声等。

(3) 视景系统: 产生座舱外的景象,包括机场、跑道、灯光、建筑物、田野、河流、道路、地形地貌、活动目标等,同时能模拟能见度、雾、雨、雪、闪电等气象条件,以及白天、黄昏、夜间的不同时刻景象。

(4) 操纵负荷系统: 给飞行员提供操纵载荷力的感觉。运动系统给飞行员提供运动的感觉,目前常采用的六自由度运动系统能提供瞬时过载,但不能提供持续过载,持续过载的模拟可采用离心机、抗荷服、过载座椅等。

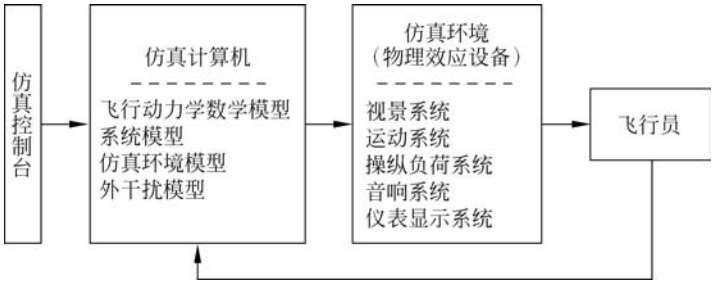


图 1-1 飞行模拟机的组成

1.2.2 飞行训练器

飞行训练器是指用于驾驶员飞行训练的航空器飞行训练器。它是在有机壳的封闭式座舱内或无机壳的开放式座舱内对飞行仪表、设备、系统控制板、开关和控制器一比一对应复制的,包括用于表现航空器在地面和空中运行所必需的设备和支持这些设备运行的计算机编程,但不要求提供产生动感的运动系统和座舱外景象的视景系统,如图 1-2 所示为常见的飞行训练器。飞行训练器等级划分为 1、2、3、4、5 和 6 级。其中,1 级作为保留级别,6 级为最高级训练器。一般来说,飞行训练器的级别越高,结构越复杂。与飞行模拟机相比,训练器是结构较简单、功能较少的小型飞行模拟装置,可用来进行某些系统的专门训练和一般的飞行训练。



图 1-2 飞行训练器

1.2.3 飞行模拟训练设备的相关背景

中国的模拟机事业伴随国内航空工业发展逐渐蓬勃兴起。模拟芯片制造业、无人机飞行模拟器产业、虚拟现实技术等高精尖产业带动复杂庞大的模拟机产品,凸显工业基础积累和计算机行业快速发展。1993年,由北京蓝天航空科技有限责任公司自主研发的中国第一台 Y7-100 飞行模拟机投入使用,它采用配置了 5 块 CPU 板的摩托罗拉 Delta DP-3600 小型机、美国 IVEX 公司的视景系统,视景与主机直接采用 BIT3 内存映射卡通通信、1:1 仿真驾驶舱、自主研发的液压操纵系统、六自由度运动系统,是采用 Fortran 语言自主研发的飞行仿真软件。中国民用航空飞行学院是它的第一个用户。中国民航第一部模拟机法规 CCAR-60 部《飞行模拟设备的鉴定和使用规则》于 2005 年才颁布,而 Y7-100 飞行模拟机 2003 年就已退出训练,直到其报废从未取证。作为第一台自主研发的飞行模拟机,其稳定性相对较差,但它培养了一批批 Y7-100 飞行学员,并为研制中国第一台获得中国民航 CCAR-60 部的 C 级认证的 MA60 飞行模拟机打下了坚实的基础。

飞机飞行模拟设备相关的规则可追溯到 1954 年,1992 年英国皇家航空学会出版的《飞机飞行模拟器鉴定的国际标准》后来成为国际民航组织于 1995 年(第一版)、2003 年(第二版)、2009 年(第三版)、2015 年(第四版)制定的《飞行模拟机鉴定标准手册》的基础。现在,希望获得模拟机评估、验证和批准的申请人应该考虑参考国际民航组织、国际航空运输协会和本国民航组织制定的规则,这些规则包含了模拟机使用、模拟机数据、设计技术和操作需求等内容(也可采用其他国家的鉴定规章,需具体参考相关法规手册)。目前国际上和我国都有飞机飞行模拟设备适用的有效规章。我国的相关法规如下:

(1)《飞机飞行模拟机鉴定程序》规定了飞行模拟机鉴定涉及的基本术语、鉴定等级划分、鉴定类型、鉴定政策、鉴定程序、不同鉴定类型(初始鉴定、升级鉴定、定期鉴定、特殊鉴定)的具体鉴定内容。

(2)《飞机飞行模拟机等级要求》则是根据《飞机飞行模拟机鉴定程序》的规定,具体罗列了模拟机等级资格认证需要满足的各项最低要求,验证测试的项目、条件、内容及容差,模拟机鉴定机构需逐项检查的全部功能列表。

(3)《飞行模拟设备的鉴定和使用规则》(CCAR-60)是民航总局按照国际民航组织的标准和行政许可法的规定,参考美国和欧洲的相应标准于 2005 年制定颁布的,该规则包括政策、飞机飞行模拟机、飞机飞行训练器、直升机飞行模拟机、直升机飞行训练器鉴定性能标准、定义和术语六个部分。其中,飞机飞行模拟机部分很大程度上是 1994 年制定的两部法规的进一步完善和规范。2019 年,该规则被正式修订为《飞行模拟训练设备管理和运行规则》并颁布生效。这一名称的改变是将 CCAR-60 部规章的内涵由设备的鉴定和使用转变

为设备的管理和运行。因为飞行模拟训练设备的行政管理包括设备许可证申请、受理、颁发等过程,而鉴定只是审批环节的技术部分,名称变更更好地反映了规章修订后的整体内容和管理思路。

相关法规从无到有,从简单到复杂,逐渐成熟和专业化,特别是空域逐渐开放、通航产业迅猛发展等,将给飞行模拟训练带来更多的机遇和挑战。

1999 年以前,中国民航还没有自己的飞行模拟设备鉴定队伍。境内各飞行训练中心都是请美国联邦航空局模拟机鉴定办公室的专家前来鉴定。1999 年 7 月,中国民航飞行模拟机鉴定组成立,9 月正式开展境内飞行模拟设备的鉴定工作,并且于 2002 年 11 月正式开展对境外训练中国民航飞行员的飞行模拟设备的鉴定工作。2003 年 6 月,“中国民用航空总局航空安全技术中心飞行模拟机鉴定办公室”正式成立,负责飞行模拟设备鉴定方面的工作。

1.3 飞行模拟训练设备等级分类

1.3.1 飞行模拟机的等级分类

1. 飞行模拟机的等级和最低要求

各级模拟机的最低要求和主要内容如下:

1) 驾驶舱一般构型

模拟机应具有一个所模拟飞机驾驶舱的全尺寸复制品,其操纵装置、设备,能够看到的驾驶舱指示器、跳开关,隔板的位置要合适,功能要准确,并可对飞机进行复现;操纵装置和开关的移动方向应与所模拟的飞机一致;影响操作程序或导致可视的驾驶舱指示的跳开关位置应当与实际的完全一致、功能应当准确。对 C、D 级模拟机,三维仪表的电子显示图像(例如一个机电仪表)应具备与飞机仪表相同的三维景象;从主要操作人员的位置观察模拟机仪表时,应复现与观察飞机仪表时相同的外观;模拟机仪表显示的图像应复现因观察角度和视差所导致的仪表读数不准确度;共用仪表上的观察角度误差和视差应最小化,例如发动机显示和备用指示器等。

2) 模拟机编程

飞行中通常遇到的阻力和推力的各种组合对空气动力变化的影响应符合实际飞行条件,包括飞机姿态、阻力、推力、高度、温度、全重、重心位置和构型变化的影响;模拟机的计算能力、精度、分辨率和动态响应应当满足所对应模拟机等级的要求;运动系统、视景系统和驾驶舱仪表的相对响应应密切耦合,以提供综合的感觉提示。对 B、C、D 级模拟机,还应包括地面操纵和空气动力的编程。对 C、D 级模拟机,还要求有风切变模型,用于进行风切变现象识别和改出程序的飞行训练;具备快速而有效地测试模拟机程序和硬件的手段;可以在湿跑道或结冰跑道上准确地再现停止时间和距离;准确地模拟刹车和轮胎故障的动态特性(包括防滞失效)和因刹车温度高而导致的刹车效应减弱的现象;能够模拟飞机的结冰效应。对 D 级模拟机,还应对低高度平飞地面效应、高高度马赫数效应、机身结冰效应、正常推力和反推推力的动态变化对操纵面的影响等进行空气动力建模,还应有故障诊断分析

程序和测试结果打印功能支持的软件和硬件控制方法。

3) 设备操作

飞机模拟过程中所涉及的全部相关仪表指示应自动地对操纵装置的移动或所模拟飞机受到的外部干扰(例如紊流、风切变)作出响应;通信和导航设备应与所模拟飞机上的一致,并在机载设备规定的误差范围内工作;教员应能够控制机内和外部的助航设施;在适用的地理区域之内,助航设施应在视线范围内可用并且无限制;模拟的飞机各个系统的工作应当与飞机各系统在地面和飞行中正常、非正常和紧急条件下的工作相同;模拟机为驾驶员提供的操纵装置的操纵力和行程应当与所模拟的飞机一致;在相同的飞行条件下,模拟机对操纵的反应应与真飞机相同。对 C、D 级模拟机,操纵感觉的动态特性应与所模拟飞机一致。对于具有推杆系统的飞机,模拟机的操纵力、位移和操纵面位置均应与所模拟的飞机相同。

4) 教员或检查人员使用的设备

除了飞行机组成员的位置,还应当为教员或检查员和监察员留有两个合适的座位。在这些座位上,应有足够的视野观察驾驶员面板和前窗。模拟机应当安装控制机构,使教员或检查人员可以控制所需的全部系统变量,将运营人的机组使用手册中描述的全部非正常、紧急条件输入到模拟机;模拟机应当有教员或检查人员能够设定环境效果的功能,例如云、能见度、结冰、降水、温度、风暴和微暴流、紊流以及中、高空风速和方向。对 C、D 级模拟机,还应当有教员或检查人员能够设定地面和空中危险情况的功能。

5) 运动系统

运动系统应当有驾驶员可以感知的运动提示,该提示代表了飞机的运动。对 B、C、D 级模拟机,还应提供特殊效果的编程,如使用刹车时的阻力效果、扰流板(或减速板)放出和反推引起的地面抖振、前起落架和主起落架离地后的抖动、襟翼和扰流板(或减速板)放出引起的空中抖振等。对 C、D 级模拟机,还应当具有至少能产生相当于六自由度具有协调性的运动平台系统。对 D 级模拟机,还应当提供在驾驶舱内感觉到的由于操纵飞机或大气干扰引起的特征抖振运动(例如高速抖振、起落架和襟翼放出、拖胎、失速抖振、大气紊流等)。

6) 视景系统

模拟机应装有提供驾驶舱外景象的视景系统;对于夜间图像,模拟机应具有可操纵的着陆灯光;模拟机教员台应当可以对云底高、能见度、跑道视程等进行控制;每个机场图像显示应当包括机场跑道和滑行道以及跑道轮廓的信息;模拟机提供的视景系统应当与空气动力的程序设计匹配;模拟机应提供与模拟机姿态有关的准确环境图像。对 A、B 级模拟机,应在每个驾驶员座位上提供连续最小水平 45° 、垂直 30° 的准直视场。两个驾驶员座位上的视景系统应当同时工作;对 C、D 级模拟机,应在每个驾驶员座位上提供连续最小水平 90° 、垂直 40° 的准直视场。两个驾驶员座位上的视景系统应当同时工作,对图像的内容和分辨率等都应有更高的要求。

7) 声音系统

驾驶员的操纵动作导致的驾驶舱声响应与真实飞机在相同情况下发出的声响一致;声音系统的音量应可调节,并具有音量水平设置的显示。对 C、D 级模拟机,应当准确地模拟降水、风挡雨刷声响和正常操作期间驾驶员能感觉到的其他重要的飞机噪声,包括飞机坠毁的声响(当模拟机以非正常姿态着陆或超过起落架结构极限时)、正常发动机和反推声响、收

放襟翼、起落架和扰流板的声响。对 D 级模拟机,还应当提供振幅和频率都比较逼真的驾驶舱噪声和声响。

2. 典型的飞行模拟机

1) 新舟 60 飞行模拟机

新舟 60 飞行模拟机(如图 1-3 所示)是一台满足《飞机飞行模拟机鉴定程序》和《飞机飞行模拟机等级要求》C 级标准要求的全动飞行模拟机,也是国内首台满足中国民航 C 级标准要求的模拟机,由中航工业蓝天公司和美国罗克韦尔柯林斯公司合作研发。蓝天公司是目前国内著名的模拟机产品取得民航高等级鉴定的企业,目前已研制完成的新舟 60 飞机全动模拟机、新舟 600 飞机全动模拟机等取得了民航局方的高等级适航证,同时为新一代国产大型客机 C919 研发了高等级的工程模拟器,并已投入使用。



图 1-3 新舟 60 飞行模拟机

该模拟机包含 20 个相对独立的分系统:平台座舱结构、通信系统、导航系统、座舱仪表系统、自动飞行控制系统、座舱电气和照明系统、主计算机和实时管理系统、接口系统、总线路系统、音响系统、教员台系统、六自由度运动系统、视景系统、操纵负荷系统、飞行仿真系统、动力仿真系统、飞机仿真系统、电源管理系统、防火与安全保障系统和测试软件系统。

该模拟机在以下诸多方面取得关键技术突破:

(1) 计算机系统的集成和嵌入式实时式软件设计。

该模拟机从使用性、可靠性、维护性等角度考虑,在国内首次采用了基于 Tornado-Vxworks 的嵌入式实时操作系统作为计算机系统的基本运行平台,实现了实时性、操作性等都非常理性的系统整合。这套系统还突破了以往模拟机研制中存在的开发、运行环境不可分割的限制,使模拟机产业化所必需的批量生产成本降低更为显著。更为重要的是,这套系统的部分技术指标(例如整机传输延迟)超出国外同类产品的水平。

(2) 航电设备的仿真和特殊总线接口驱动。航电设备仿真的顺利完成使我国掌握了对目前民用飞机所用的大多数航电设备进行仿真的方法、算法。而特殊总线接口方面的突破又很好地控制了设备采购成本。

(3) 数据的工程仿真和拟合。通过采用工程仿真计算的方式对飞机的各种试验数据(风洞数据、台架试验数据等)和试飞数据进行工程仿真和拟合,使得该模拟机具有高逼真度的飞行性能和操稳性能,同时还建立了一套完整的工程仿真数据包。

(4) 鉴定测试指南(QTG)测试软件。C 级标准要求模拟机必须提供方便、快速的自动测试软件,而且要求每个飞行测试科目必须由计算机自动驱动完成,不应由飞行员操作完成。该模拟机完全独立开发的基于窗口操作模式的软件系统,实现了对模拟机的自动测试驱动和检测,在技术水平上大大超过了国外产品,而且这套软件不依赖于硬件环境,具有很好的可移植性。

2) A320 全动飞行模拟机

图 1-4 和图 1-5 为国内首台拥有完整自主知识产权的 A320 NEO/CEO D 级全动飞行模拟机。D 级全动飞行模拟机是民航飞行员训练的必备装备,座舱根据真实航空器驾驶舱

1:1 复制,飞行员操作感受与真航空器完全一致,叠加情景模拟后完全仿真飞行过程中的各种复杂、极端场景。



图 1-4 A320 全动飞行模拟机



图 1-5 A320 飞行模拟机内部

驾驶舱内部安装有先进的全景模拟系统以及三维显示教员操纵台,可以为飞行员提供初始训练、转机型训练、升级训练、定期复训等科目的全面训练。模拟机可以模拟平时飞行中难以遇到的各种紧急情况,提升飞行员处理紧急情况的能力,也可以有针对性地对在飞行过程中发现的有一定普遍性的问题进行重点训练,以消除不安全因素,全面提高飞行员的飞行技术。

3) ARJ21-700 全动飞行模拟机

图 1-6 和图 1-7 为 ARJ21-700 D 级全动飞行模拟机。它的工程及试飞数据包由中国商飞客服中心自主开发,硬件和软件仿真平台由加拿大 CAE 公司提供。ARJ21 飞行模拟机的电子飞行仪表系统仿真可提供电子飞行仪表符号发生器的功能及主飞行显示和多功能飞行显示。该模拟机有与真飞机一样的飞行控制面板和操纵杆,同时可提供真实、精确、完整的飞行参数、飞行计划设定与显示功能。



图 1-6 ARJ21-700 全动飞行模拟机



图 1-7 ARJ21-700 飞行模拟机内部

ARJ21 飞行模拟机采用超真实的仿真飞行模拟机视景系统,并搭配六自由度运动平台系统;它的驾驶舱布局、仪表、开关操纵和 ARJ 支线客机一样,学员可在飞行体验中了解飞行阶段的操纵流程;教员台系统可提供飞机参数、机场选择、科目设置等快速设置按钮,能高效率地进行飞机状态参数改变、场景切换、科目选择,提高飞行体验的训练效率。

1.3.2 飞行训练器的等级分类

1. 飞行训练器的等级和最低要求

2 级至 6 级飞行训练器的最低要求和具体内容如下:

1) 驾驶舱一般构型

对 3、6 级训练器,应具有一个所模拟飞机驾驶舱的全尺寸复制品,其操纵装置、设备、能够看到的驾驶舱指示器、跳开关、隔板等部件的位置要合适,功能要准确,可对飞机进行复现;操纵装置和开关的移动方向应与所模拟的飞机一致。对大部分训练器,应当充分地模拟设备(例如仪表、面板、系统和操纵装置)以能够保证完成批准的训练、检查。训练器上安装的设备应当具有正确的空间布局,它们可以在驾驶舱内或在开放式的驾驶舱区域内,并且这些设备的工作应当同真实飞机上的相应设备一致。

2) 训练器编程

训练器具有满足鉴定等级要求的计算机(模拟或数字)能力,例如计算能力、精度、分辨率和动态响应。除 4 级之外,训练器应当能够表现飞行中通常遇到的阻力和推力的各种组合对空气动力变化的正确影响,其中应当包括飞机姿态、推力、阻力、高度、温度及构型变化的影响。驾驶舱仪表的相对响应应当密切耦合以提供综合的感觉提示。这些仪表应当在规定时间内对驾驶员位置上的输入作出快速有力的响应,但不能短于相应飞机在同样条件下作出响应的的时间。

3) 设备操作

训练器上安装的系统应当能够模拟飞机上相应系统的运行,包括在地面和飞行中两种情况;应模拟至少一个飞机系统;系统的运行应当满足能够完成训练大纲所包含的正常、非正常和应急操作程序的要求;应当具有足够的环境灯光用于仪表和面板照明,以便于实施操作。除 4 级之外,训练器的全部相关仪表指示应自动地对操纵装置的移动或所模拟飞机受到的外部干扰(例如紊流、风)作出响应,且导航设备应与所模拟飞机上的一致,并在机载设备规定的误差范围内工作。

4) 教员或检查人员使用的设备

除了飞行机组成员的位置外,还应当为教员或检查员和监察员安排合适的座位。在这些座位上,应当有足够的视野观察飞行机组成员的面板。训练器应当具有教员控制机构,可以通过该机构根据需要设置正常、非正常和紧急情况。一旦设置的情况启动,机组实施的系统管理应能触发正确的系统工作,而不需要来自教员控制机构的输入。

5) 视景系统(如适用)

训练器可以安装视景系统,但不作要求。如果安装了视景系统,则需满足视场角、分辨率和距离等要求。

6) 声音系统

对 3、6 级训练器,模拟的由驾驶员操纵动作所导致的重要驾驶舱声响应与相同情况下在飞机上听到的一致。

2. 典型的飞行训练器

1) 桌面式飞行训练器

桌面式飞行训练器属于 2 级飞行训练器,如图 1-8 所示。它采用专业的飞行仿真软硬件技术,可用于飞行教学、仪表识别、飞行科普等。仿真件营造出与飞机真实驾驶舱一致的训练环境,可复现各种飞行环境,完成航线中飞行前准备、标准离场、爬升、巡航、下降、进近、标准进场、复飞等阶段的飞行程序和机组配合、电子飞行仪表系统等操作程序的训练。操纵机构齐全,摇杆、脚舵、油门拉杆、混合比杆等飞行操纵部件完整,仿真度高,足以胜任相应的