

动态飞行模拟器及其发展概述

宋琼, 胡荣华

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 在分析载人离心机对航空生理医学研究以及飞行员高过载训练作用的基础上, 详细介绍了载人离心机向动态飞行模拟器的发展历程, 并对国内外发展历史、发展现状进行总结, 重点介绍当代国际上主要厂家以及国内载人离心机发展历程中的代表性产品。随着我军先进战机的大量服役, 国内仅有的一台引进的动态飞行模拟器已不能满足使用需求, 中国工程物理研究院总体工程研究所在多年大型科学实验用离心机研制经验的基础上, 开展动态飞行模拟器研制工作, 目前已完成部分主要性能指标的调试工作, 并根据工程研制经验对动态飞行模拟器研制过程中的关键技术以及国内未来发展趋势展开分析讨论。

关键词: 载人离心机; 飞行模拟; 动态飞行模拟器; 持续性高过载

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.05.002

中图分类号: TJ05; V416 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)05-0011-08

Summarization of Dynamic Flight Simulator and Its Development

SONG Qiong, HU Rong-hua

(Institute of Systems Engineering, CAEP, Mianyang 621900, China)

ABSTRACT: Based on the analysis of human centrifuge used in aviation physiology medicine and pilot high sustained G training, the development path from human centrifuge to dynamic flight simulator (DFS) was introduced in details, the development history and current situation around the world were summarized, the representative products of major international manufacturers and domestic human centrifuge development history were introduced with emphasis. As more and more advanced fighter plane were taken into service in our army, the only one imported DFS has been unable to meet the operation demand. Based on large-scale scientific centrifuge research experience, the Institute of Structural Mechanics of Chinese Academy of Engineering Physics carried out DFS research, and the commissioning work of part key performance indicators has been finished. The related key technologies for development of dynamic flight simulator and the domestic future development trends were also analyzed and discussed.

KEY WORDS: human centrifuge; flight simulation; dynamic flight simulator; sustained high G_load

随着高性能战机的大量服役, 先进战机在空战中 不可避免地出现超机动动作, 产生持续性高过载可能

收稿日期: 2015-07-26; 修订日期: 2015-08-10

Received: 2015-07-26; Revised: 2015-08-10

作者简介: 宋琼(1972—), 女, 四川夹江人, 硕士, 研究员, 主要从事科学试验离心设备相关研究工作。

Biography: SONG Qiong(1972—), Female, from Jiajiang, Sichuan, Master, Researcher, Research focus: centrifugal equipment of scientific experiment.

诱发飞行员出现短暂黑视、空间定位错觉,甚至引起G_{LOC},严重影响飞行员对战场态势的判断,对飞行员安全构成严重威胁。由此,动态飞行模拟器应运而生,其主要通过三自由度的协调运动来产生持续性高过载,对飞行员进行高过载耐力训练,提高飞行员对高过载环境下的操纵熟练程度。动态飞行模拟器由早期的载人离心机发展而来,载人离心机主要通过预编程的方式对飞行员进行加速度训练,并开展加速度生理学研究。

时至今日,随着现代先进战机的大量服役以及空战环境的复杂化,载人离心机的发展基本与战斗机性能发展相平行,现代载人离心机不仅具备提供持续性加速度环境的能力,还具备飞行员主动控制、高逼真视景/仪表显示、真实飞行环境模拟等特点,将载人离心机与飞行模拟技术相结合,发展成为如今大家所熟知的动态飞行模拟器,其在现代持续性高过载飞行训练方面具有广阔的应用前景。随着航空技术的发展,动态飞行模拟器更趋向于空战飞行模拟训练,可以在地面以更安全、更低成本的方式通过训练提高飞行员在高过载环境下的飞行操纵能力,提高战场生存率。文中针对动态飞行模拟器工作原理、系统组成及其应用发展展开分析讨论,并就动态飞行模拟器研制关键技术及其未来发展趋势进行分析。

1 系统组成与工作原理

动态飞行模拟器如图1所示,主要由驱动系统、主机结构、飞行仿真系统、控制系统、安全保护系统以及医学监测系统等组成。系统通过主旋臂的旋转运动以及安装于主悬臂末端模拟吊舱滚转和俯仰的二自由度运动实现三自由度协调运动,模拟吊舱由外部滚转框和内部俯仰座舱组成,内部俯仰座舱内配置飞行模拟操控元器件、视景显示系统、仪表显示系统、生理医学监测系统、视频监控系统、语音通话系统等,用以开展持续性加速度耐力训练、飞行模拟训练以及相关应用研究^[1]。动态飞行模拟器加速度训练模式主要有两种。

1) 预编程方式:飞行员位于模拟座舱内,动态飞行模拟器对预先编制的纯 z 向梯形过载进行模拟,用以模拟飞行员在高过载环境下的抗荷动作以及相关航空医学、生理学研究。

2) 动态飞行模拟模式:飞行员在模拟座舱中操纵模拟操作元件,通过飞行解算后得出驱动视景,仪表显示给飞行员予真实的视觉感受,同时输出三轴过载。

动态飞行模拟器通过三轴协调运动对三轴过载进行模拟,用于模拟真实的飞行过载感受。飞行员通过三轴过载感受,并根据视景、仪表显示系统提供的信息对动态飞行模拟器进行操纵,实现人在回路的闭环控制。动态飞行模拟模式主要用以对高过载环境下的机动动作进行模拟训练^[2-4],通过飞行训练提高飞行员在持续性高过载环境下对飞机的操纵能力。

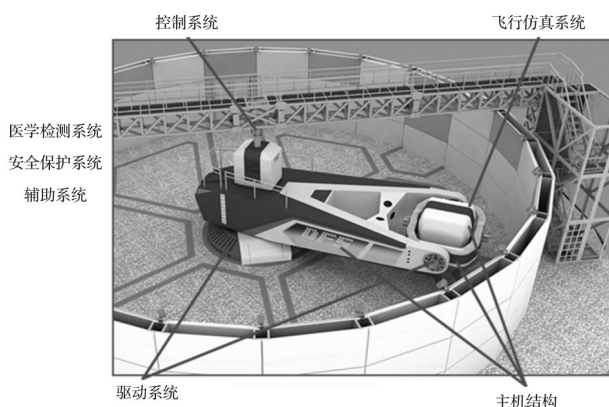


图1 动态飞行模拟器

Fig.1 Schematic of dynamic flight simulator

2 国外发展历程

动态飞行模拟器以载人离心机为运动平台,早期载人离心机仅仅用于对飞行员进行持续性高过载耐力训练及相关加速度生理学研究,并不进行飞行模拟训练。20世纪90年代后,随着三代战机的大量服役,飞行模拟训练才慢慢与载人离心机相结合,形成今日载人离心机与飞行模拟器融为一体的动态飞行模拟器^[1,5]。

2.1 载人离心机

第一次世界大战期间,军事航空业得到了迅猛发展,欧洲上空几乎每天都在上演激烈的空战。然后,与空战中的伤亡相比,因飞行事故造成的伤亡约是其3倍,有些事故是由于飞行员在俯冲拉起过程中加速度引起的意识丧失造成的,G_{LOC}开始引起人们的高度关注。1918年起,人类才开始真正意义上把载人离心机作为航空医学的研究工具。二次世界大战极大地促进了航空医学的发展,许多航空大国建造了载人离心机用于航空医学、加速度生理学研究。1931年,法国人Flamme建造了一台臂长8 m的载人离心机进行人体试验,开创了加速度生理学研究的先河,自此

载人离心机与飞行开始紧密结合起来。载人离心机伴随着航空事业的发展得到了长足发展,并于20世纪60,70年代达到了快速发展时期。

20世纪60,70年代,经历了长达7年的越南战争,战斗机也从第一代发展到了第二代,为了适应加速度生理学研究的需要,载人离心机的性能也得到了明显改进。主要表现在由单自由度向多自由度发展(以二自由度为主),有些载人离心机还使用了万向接头和视景显示系统。我国空军航空医学研究所也于1967年建造一台载人离心机,其臂长5 m,最大模拟过载达到15g,最大过载增长率为3 g/s。

20世纪80,90年代,尤其在经历了海湾战争后,大批先进的第三代战机装备西方国家空军。为了适应三代战机飞行员高过载训练的需求,新建的载人离心机增长率达到6 g/s,有些还可以进行空战飞行模拟训练,均安装有万向接头和主动模拟吊舱,由载人离心机发展为融合载人离心机和飞行模拟器的动态飞行模拟器^[6-7]。

2.2 动态飞行模拟器

动态飞行模拟器以载人离心机为运动平台,结合了载人离心机和飞行模拟器的优势,可用于进行空战动作飞行模拟训练。动态飞行模拟器的发展始于20世纪80年代中期,随着大批三代战机的入役,开始在载人离心机上进行空战动作飞行模拟训练,有些过去的载人离心机也升级改造为动态飞行模拟器,用于满足三代战机飞行员高过载训练的需求^[1,2,8]。

国外动态飞行模拟器建设应用均由本国的航空医学研究所或联合训练中心使用管理,用于飞行员过载体验、航空医学研究以及生理训练。如美国国家航空训练研究中心(NASTAR)、美国Holloman空军基地生理训练中心(PTC)、韩国空军与美国Wright-Patterson空军基地的空海军联合服务航空医学中心。

美国历史上曾建造了十余台动态飞行模拟器,用于科研与飞行人员训练。当前在役的主要包括:美国Wright-Patterson空军基地的离心机,主要用于航空医学研究工作;Brooks空军基地的载人离心机,由阿姆斯特朗实验室负责运行,主要用于发展生保装备及实施美空军高+ G_z 训练计划;美海空作战中心的动态飞行模拟器于2001年正式投入使用,仅用于飞行员训练。此外,NASA在加州摩菲特基地的阿姆斯研究中心建造的一台动态飞行模拟器,用于航天员训练以及科学研究。

20世纪90年代末期以来的动态飞行模拟器均安

装有万向接头、主动控制模拟吊舱以及飞行模拟系统,过载增长率在10~15 g/s。其主要生产商以美国环境构建公司(ETC公司)、美国Wyle实验室以及奥地利金属系统技术公司(AMST公司)为代表。其中尤以美国ETC公司技术实力最强,其先后为美国、新加坡、日本、韩国、马来西亚等国建造了多台动态飞行模拟器。这一时期的动态飞行模拟器不仅具备早期的载人离心机的离心试验功能,同时还具备飞行模拟器的飞行模拟功能,飞行员可以在位于主旋臂末端的高保真模拟吊舱中通过真实的持续性过载感受,并结合逼真的视景、仪表显示对动态飞行模拟器进行操作,进行空战动作训练,以及持续性高过载环境下的耐力训练,并进行相关航空医学、加速度生理学研究。下面就较为典型的产品进行简要介绍^[9-11]。

3 典型产品

3.1 AMST载人离心机

1999年,空军航空医学研究所自奥地利AMST公司引进一台新型高性能动态飞行模拟器(该项目合同为AMST公司的首个动态飞行模拟器研制合同),于2005年7月交付使用。该设备主要性能指标为:全平衡、三自由度、高+ G_z 增长率、带动态飞行模拟功能。主要参数:臂长8m,自然谐振频率 ≥ 10 Hz、最大+ G_z 水平(最大承重负荷下)为15g、加速度连续可调范围(G_x :-10g ~ +10g, G_y :-6g ~ +6g, G_z :-5g ~ +15g)、最大线性增长率为6 g/s、平均增长率为10 g/s。座舱依照苏27进行设计。目前,该动态飞行模拟器主要用于航空医学研究、三代机飞行员改装体检选拔、抗高过载能力矫治训练和模拟空战飞行等高级训练,以及飞行人员防护装具、装备的研究、检验等任务,发挥了显著的军事、经济效益。

3.2 Wyle实验室动态飞行模拟器

美国Wyle实验室于2003为瑞典空军建造了一台动态飞行模拟器如图2所示。其既可以作为JAS39战斗机飞行员训练的飞行模拟器,又可以用于高过载环境下的医学研究。系统可以在很短的时间内让飞行员完成拉起达到9g的过程,并做出俯仰、滚转等动作,飞行员在模拟座舱内获得的视觉、过载感受与真实飞行过程中非常接近^[12]。系统的主要特征如下所述。

1) 建立在运动平台上的大尺寸球形模拟吊舱,安装有JAS39战机的驾驶舱显示器和控制器,以及三屏

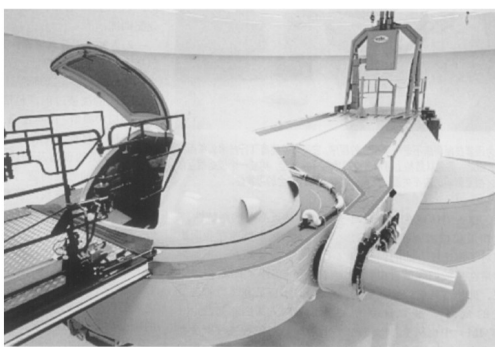


图2 瑞典空军动态飞行模拟器

Fig.2 The dynamic flight simulator in Sweden air force

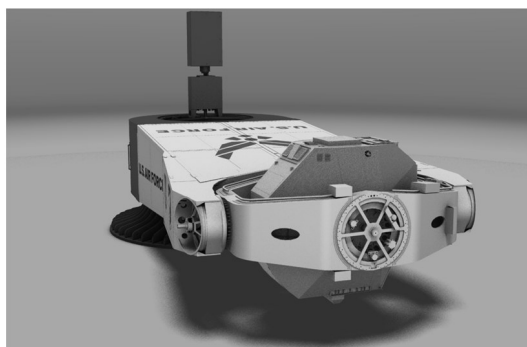


图3 ATFS-400型动态飞行模拟器

Fig.3 ATFS-400 dynamic flight simulator

幕视景显示系统;

2) 控制系统基于JAS39或其他飞机的空气动力学模型,能够精确模拟战斗机的动力学响应特征;

3) 控制系统采用基于人体感知觉的运动载荷控制方法,可以“欺骗”人的生理传感器,得到在常规的载人离心机上不可能获得的真实过载感受;

4) 闭环的控制模拟使飞行员既能飞,又能完全指挥它的运动,也可实行预编程模式;

5) 系统的延迟很小,可以确保模拟器的过载响应接近于真实飞行。

该动态飞行模拟器可用于在高过载环境下对飞行员进行训练和评估。系统强调这种动态飞行模拟器是安装在载人离心机上的飞行模拟器,而不是具备模拟功能的离心机,也就是飞行模拟功能优先。现在,所有的瑞典战斗机飞行员都要通过动态飞行模拟器的飞行培训。

3.3 ATFS-400型动态飞行模拟器

美国ETC公司在动态飞行模拟器领域处于世界领先地位,由ETC公司研制的ATFS-400型动态飞行模拟器(如图3所示)于2012年落成,配置了包括F-35“闪电”战斗机在内的多个高保真模拟座舱。ATFS-400型动态飞行模拟器作为目前最先进的动态飞行模拟器,具备三个自由度运动模拟能力(具备15 g/s的加速度上升速率, G_x, G_y, G_z 三个方向20g的最大加速度能力),集加速度模拟、视景、仪表、舱内环境控制及闭环控制于一身。除了可用于开展航空医学、加速度生理学研究、加速度耐力训练,还具备开展全任务战术飞行,包括基础训练、专项训练以及多功能训练等飞行模拟训练的能力。作为目前最先进的动态飞行模拟器,ETC公司已经先后为美国、马来西亚、韩国等研制多台ATFS-400型动态飞行模拟器。

作为目前世界上最先进的动态飞行模拟器,ATFS-400型动态飞行模拟器具备开展被动、主动加速度耐力训练以及战术飞行训练的功能,其主要功能有:预编程加速度耐力训练、主动过载训练、起飞/着陆训练、大攻角机动飞行训练、战术武器使用训练、推拉效应训练、定向障碍训练、舰载机飞行员训练、电子战训练、空战模拟飞行训练、飞行包线边缘飞行训练、战术编组及其对抗训练等。

除了用于飞行员的训练之外,该设备在生理研究方面也有很大潜力,可以帮助确定飞行员在高过载情况下对颜色和听力的感知等级。包括目标捕获、跟踪、导弹发射等内容的战斗演练都能够被用来判定在高过载情况下飞行员感知目标位置的能力。甚至可以对驾驶舱中控制器的位置、平显、下显、上显示字符的颜色等进行有针对性的研究。ATFS-400型动态飞行模拟器代表当今世界动态飞行模拟器发展的最高水平,这也将是国内动态飞行模拟器的未来发展方向。

4 国内发展历程

我国从20世纪60、70年代开始进行载人离心机的研制工作,从1965年到1997年共完成了6台载人离心机的研制,包括单轴转动、单轴舱摆动以及三轴舱摆动多种形式。我国载人离心机的运行得到了可靠验证,其安全性和可靠性完全满足飞行员和航天员的训练需求,具有解决载人离心机安全性的成熟经验。

1963年,空军航空医学研究所最早在国内启动了载人离心机建造工作,由上海机电产品设计院于1964年开始制造,1967年完成调试并投入使用。该离心机主臂长5 m,原性能指标最大 $+G_z$ 值为15g, $+G_z$ 增长率在0.1~1.25 g/s之间非恒定变化,后经改造性能有所提高。在30余年的航空医学科研工作中进行了多项重

大航空医学研究,承担了空军各型号飞机机载供氧制氧装备、个体防护装备等的试验任务,为航空武器装备发展和部队战斗力的成长发挥了重大作用。现该离心机已报废拆除,现存于航空博物馆。

20世纪90年代,基于我国载人航天事业发展的需要,中航工业直升机设计研究所于1998年为总装航天医学工程研究所建成了一台二自由度HYG08型载人离心机(如图4所示),用于航天员训练,为我国载人航天事业发挥了重大作用。主要参数:主臂长8 m、最大加速度为16g、最大加速度增长率为6 g/s、最大有效载荷为165 kg。该离心机在使用过程中可执行梯形曲线以及随机曲线,但是不具备动态飞行模拟功能^[13]。

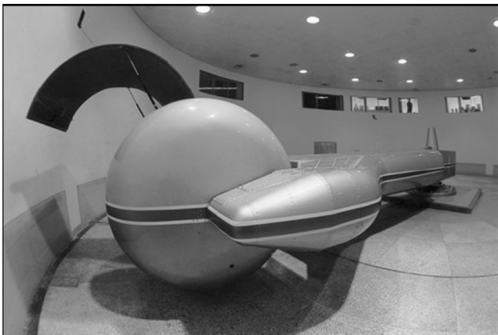


图4 HYG08型载人离心机
Fig.4 HYG08 human centrifuge

20世纪90年代开始,随着以苏27为代表的三代主力战机的大量服役,为了在地面对飞行员进行持续高过载环境训练,国内在动态飞行模拟器方面的需求越来越急迫。1999年,空军航空医学研究所从奥地利

AMST公司引进了一台动态飞行模拟器,于2005年7月交付使用。该动态飞行模拟器是国内第一台具备三自由度协调运动功能并能够部分进行飞行动作训练的动态飞行模拟器。

中国工程物理研究所总体工程研究所(以下简称总体所)在大型离心机研制方面具有丰富的经验,在国内处于领先地位。近年来总体所在大量大型离心机设备研制经验基础上,开展了动态飞行模拟器研制工作,是国内唯一一家正在进行动态飞行模拟器研制的单位。针对动态飞行模拟器的技术难点,总体所于2005年开始动态飞行模拟器的关键技术攻关工作,并于2012年正式启动样机研制工作,于2014年完成动态飞行模拟器运动平台安装调试,预计2015年完成全系统调试并投入运行。该系统用于开展动态飞行模拟器技术验证、航空装备测试、飞行模拟训练、加速度耐力训练以及航空医学、加速度生理研究。所研制动态飞行模拟器在具备载人离心机的功能外,同时具备飞机模拟器的基本功能,可用于新一代战斗机飞行员加速度训练和战斗机飞机模拟训练,同时提供航空医学对飞行员生理监测需要的研究平台。配备通用飞行数据包、苏27操纵负荷系统,在满足生理医学训练的基础上还可部分进行飞行员战术飞行科目训练。该系统主要性能指标与美国ETC公司的ATFS-400型动态飞行模拟器相当,整体功能优于现有从奥地利AMST公司引进的动态飞行模拟器,并可实时对系统响应时间进行检测,能够符合高性能战机飞行员的生理训练和科研要求。系统主要参数与国外同类产品对照见表1。

表1 具代表性载人离心机设备参数对照
Table 1 Contract of parameters for representative human centrifuge

研制方式	主驱动方式	最大模拟过载/g	最高过载增速 g/s	主臂半径/m	吊舱控制方式	吊舱运动参数	视景视角	系统响应时间/ms	舱内布局
ETC	间驱	15	10	7.62	主动	± 360° 俯仰	120° × 70°	—	直接更换
		20	15	9.45		± 360° 滚转	可订制		
Wyle	直驱	15	10	9	主动	± 360° 俯仰	—	—	—
						± 360° 滚转			
AMST	直驱	15	10	8	主动	± 180° 俯仰	120° × 50°	80	—
						± 360° 滚转			
总体所	直驱	15	10	8	主动	± 360° 俯仰	120° × 60°	80	直接更换
						± 360° 滚转			

总体所研制的动态飞行模拟器已经完成部分主要技术指标的平台调试工作,主机系统已经完成最高过载15g以及最高过载加速度10 g/s的调试工作,已

经完成三轴协调运动调试,达到系统设计要求,预计2015年内完成包括医学监测系统在内全系统调试工作,具备上人条件。

5 各国装备情况

目前,世界上空军规模稍大的国家,大都装备有动态飞行模拟器。据统计,现在世界各国至少有50台动态飞行模拟器在服役,而且几乎每年都有1台新的动态飞行模拟器问世。随着具备高机动能力的三、四代战机已逐渐成为各航空大国的主要在役机种,许多国家和地区空军竞相建设和升级动态飞行模拟器。2003年由Wyle实验室为瑞典皇家空军建造的一台高性能动态飞行模拟器投入使用。奥地利AMST公司于

2004年对德国空军载人离心机进行了改造升级,以适应“台风”战斗机飞行员训练需要,之后陆续为中国、俄罗斯、印度、荷兰、波兰建造了本国的新一代载人离心机。由ETC公司设计的ATFS-400型高性能动态飞行模拟器2006年、2012年与2013年分别落户于马来西亚皇家空军、韩国空军与美国Wright-Patterson空军基地的空海军联合服务航空医学中心,美国国家航空训练研究中心(NASTAR)也使用该系统承担军事与民航飞行员及宇航员的训练与科研工作。近年来各国主要装备情况见表2。

从表2可以看出,目前各国所装备动态飞行模拟

表2 各国装备情况

Table 2 Equipment status around the world

装备国家	服役时间	最大模拟过载/ g	最大过载增速/ $(g \cdot s^{-1})$	主臂半径/ m	生产厂家	控制方式
日本	1999	12	6	7.62	ETC	主动
法国	1999	30	10	8	Latecoere	主动
瑞典	2003	15	10	9.14	Wyle	主动
中国	2005	15	10	8	AMST	主动
马来西亚	2006	15	10	7.62	ETC	主动
俄罗斯	2007	15	9	—	AMST	主动
印度	2008	15	10	—	AMST	—
波兰	2011	—	—	—	AMST	主动
美国	2013	20	15	9.45	ETC	主动

器最大模拟过载以15g为主,最大过载变化率大都位于6~10 g/s之间,主要生产厂商以美国ETC公司为主,其次为奥地利AMST公司,运行控制方式自20世纪90年代中期后均以主动控制方式为主,这在一定程度上反应了动态飞行模拟器在控制方式上的发展趋势。主旋臂旋转半径主要集中在6~9 m,这主要是考虑到在系统运行过程中尽量减少科里奥斯加速度的影响,以及作用在飞行员身上的加速度相对变化梯度要小,并综合考虑合理的性价比。

6 关键技术

动态飞行模拟器是涉及多个技术领域的复杂系统,需要从理论计算、设计仿真、生产研制、试验分析等多个方面开展工作,突破诸如人体感知觉过载环境模拟、复杂工况下大型旋转系统结构优化设计、超重力场下高动态三轴协调运动控制等大量关键技术^[15-17]。

1) 人体感知觉过载环境模拟技术。早期研究认为飞行模拟器“越逼真越好”,但是随着实践经验的

不断验证,逐渐统一认为取决于飞行特点和训练任务的需要。原因在于不同的飞行特点和训练任务对人的感知器官刺激的数量与程度不同,从而造成了外在的对模拟逼真度要求的不同,飞行模拟的最终目的是创建出使人感觉真实的模拟环境,所以其目标变成了“感觉越逼真越好”。人体感知觉包括了前庭、视觉、听觉、本体等多个方面,运用动态飞行模拟器对飞行员进行加速度训练,重在使飞行员的人体感知觉与真实飞行一致。综合分析动态飞行模拟器飞行员位置处各加速度产生的原因及其数学关系,建立动态飞行模拟器过载模拟的基本控制方程。结合人体感知觉以及动态飞行模拟器的运动特性,通过动态飞行模拟器试验,对人体感知觉生理基础以及导致人体感知差异的主要因素展开分析研究,建立人体感知觉模型。在基本控制方程的基础上综合考虑人体感知觉的影响,并通过试验不断修正,使飞行模拟更为逼真。

2) 复杂工况下大型旋转系统结构优化设计技术。动态飞行模拟器是一种复杂的大型旋转系统。运行时其主体结构将承受较高的顺臂向、切向过载。

二自由度吊舱要在高过载环境下同时完成滚转和俯仰运动,受力情况更加复杂,所以离心机主臂、滚转框、座舱以及各种连接轴等部件必须在工作载荷下具有足够的结构强度和安全系数。此外要获取理想的响应特性,系统必须开展各部件以及整机结构的动、静态力学分析以及冲击响应特性分析,保证系统结构的整体刚度和动态匹配。最终确保动态飞行模拟器具备足够精度的高动态过载模拟能力。

3) 飞行仿真系统设计技术。战术飞行训练的效果严重依赖于飞行仿真系统模型的准确度。飞行仿真系统根据当前模拟战机的状态以及飞行员操纵输入,实时解算“飞机”飞行参数,并输入到视景显示系统、仪表显示系统以及运动控制系统。飞行员通过视景、仪表显示信息并结合自身过载感受对动态飞行模拟器进行操纵,技术核心是解决飞机模型的准确性以及与动态飞行模拟器的匹配性问题。在软件设计过程中,需要综合考虑系统与传统地面飞行模拟器的差异,协同控制系统其他软件进行软件综合设计,包括软件架构设计以及接口设计^[17]。

7 发展趋势

国内仅空军航空医学研究所有一台2005年自奥地利AMST公司引进的动态飞行模拟器,其虽可进行飞行模拟训练,但是存在响应时间滞后严重等问题,严重影响飞行模拟训练效果,目前其主要用于飞行员加速度耐力训练以及航空医学、加速度生理学研究等。美国ETC公司对利用动态飞行模拟器进行战术飞行训练的研究已开展多年,目前已经发展成为美军动态飞行模拟器及其他训练装置的研制中心、培训中心,飞行员、宇航员的训练中心,以及民众的飞行体验中心。随着中国工程物理研究院总体工程研究所对动态飞行模拟器的自主研制,将打破这一重大后勤保障装备受制于人的情况,同时也应该看到自主研制产品在部分功能上与国外先进产品仍有部分差距。为了满足国内对地面持续性加速度训练以及相关应用性研究方面的需求,未来国内在动态飞行模拟器技术领域主要将朝着以下几个方向大力发展。

1) 战术飞行模拟训练。目前总体所动态飞行模拟器主要以预编程曲线加载进行加速度耐力训练以及航空医学、加速度生理学研究为主,同时具备通过动态飞行模拟进行机动飞行训练的功能,但是尚不具备火控系统、武器系统使用等方面功能。美国ETC公司已经开展通过动态飞行模拟器进行飞行模拟训

练的研究多年,但是其技术对中国保密。随着现代计算机技术、飞行仿真技术的发展以及我军先进战机性能的发展,在动态飞行模拟器上进行飞行模拟训练将是大势所趋。同常规飞行模拟器一样,动态飞行模拟器也可以通过加载逼真的飞行仿真系统、高保真的模拟座舱以及利用先进的数据传输技术降低系统响应时间,从而利用动态飞行模拟器在地面进行战术飞行训练。

2) 编队飞行训练。空战中绝大多数情况都是编队作战,为了适应战场环境的需要,通过动态飞行模拟器在地面进行联机对抗训练,将大幅减少飞行员空战训练费用,同时可以在更短的时间内提高飞行员的编队战术飞行及空战技能。在进行战术飞行训练的基础上,可通过与电脑虚拟飞机节点进行编队联合战术飞行训练。未来可通过组建专门的网络,利用动态飞行模拟器进行空中对抗训练。

3) 舰载机飞行员训练。随着“辽宁”号航空母舰的服役,我国海军发展进入一个新的时代,对舰载机飞行员的训练需求显得越来越急迫。通过地面飞行模拟器进行舰载机飞行员训练,能够以较低的成本、更安全的方式进行舰载机飞行员的着舰飞行训练。为了在地面以更安全、更快速、更经济的方式促进我军战斗力的形成,进行舰载机飞行员动态飞行模拟训练方面的应用性研究将是国内未来的主要发展方向之一。

4) 飞行模拟训练方法研究。分析现役机型几何气动特性以及火控系统、操纵系统、雷达系统等系统特点以及飞行员操纵习惯、目标模拟机型人机工效特点,并结合现有训练体系以及目标模拟机型训练状况,设计相应的动态飞行模拟训练方法,针对性地开展战术武器使用训练、战术对抗训练等,以提高飞行员战术能力水平,将是动态飞行模拟器未来主要应用性研究方向。

8 结语

动态飞行模拟器以载人离心机为运动平台,通过三自由度的协调运动产生持续性高过载,并配备飞行模拟系统以及逼真的视景、仪表显示系统,可用于在地面对飞行员进行持续性加速度环境下的加速度耐力训练、飞行模拟训练,以较低的代价和更安全的方式对飞行员进行飞行模拟训练,对部队战斗力的提高具有重要意义。随着三代战机的大量入役,我国将越来越重视动态飞行模拟器及其应用性研究。

参考文献:

- [1] 陆惠良. 载人离心机及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2001.
LU Hui-liang. Human Centrifuge and Its Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001.
- [2] 由勇, 由育阳, 由俊生. 持续载荷飞行仿真技术与工程设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2013.
YOU Yong, YOU Yu-yang, YOU Jun-sheng. Sustained Acceleration Flight Simulation Technology and Engineering Design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [3] 潘文俊, 王立新. 持续载荷飞行模拟器过载模拟新原理[J]. 航空学报, 2010, 31(11): 2159—2165
PAN Wen-jun, WANG Li-xin. Principles of G_{load} Simulation for a Novel Sustained-G Flight Simulator[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2010, 31(11): 2159—2165.
- [4] 潘文俊, 王立新, 谭详升. 持续载荷飞行模拟器过失速机动过载模拟[J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 31(6): 635—638.
PAN Wen-jun, WANG Li-xin, TAN Xiang-sheng. Simulator of G_{loads} in Post-stall Maneuver on Sustained G_{load} Flight Simulator[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011, 31(6): 635—638.
- [5] GROSBIE R J, KIEFER D A. Controlling the Hum Centrifuge as a Force and Motion Platform for the Dynamic Flight Simulator, AIAA-1985-1742[R]. 1985.
- [6] 由勇, 五澄, 由俊生, 等. 持续载荷飞行模拟器运动系统研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(5): 1154—1156
YOU Yong, WU Cheng, YOU Jun-sheng, et al. Study of Motion System of Flight Simulator of Persisted Load[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(5): 1154—1156.
- [7] RICHARD J C, LANGHORNE. Dynamic Flight Simulator Control System: United States, 4751662[P]. 1988-06-02.
- [8] 贾普照. 稳态加速度模拟试验设备_离心机设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2013.
JIA Pu-zhao. Steady State Acceleration Simulation Test Equipment-Centrifuge Design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [9] 刘光远, 沈羨云, 陈涤明. 重力生理学——理论与实践[M]. 北京:国防工业出版社, 1993.
LIU Guang-yuan, SHEN Xian-yun, CHEN Di-ming. The Theory and Practice of—Gravitational Physiology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993.
- [10] TRIPATHY N K, TYAGI P K. Analysis of Multi-axis Acceleration Profile in a Supermaneuverable Aircraft[J]. Indian Journal of Aerospace Medicine, 2006, 50(2): 7—12.
- [11] 常耀明, 孙喜庆, 姜世忠. 航空航天生物动力学[M]. 西安:第四军医大学出版社, 2013.
CHANG Yao-ming, SUN Xi-qing, JIANG Shi-zhong. Aerospace Biodynamics Aviation Biodynamics[M]. Xi'an: Fourth Military Medical University Press, 2013.
- [12] 张舒, 苏洪余. 航空航天医学史[M]. 西安:第四军医大学出版社, 2013.
ZHANG Shu, SU Hong-yu. History of Aerospace Medicine [M]. Xi'an: Fourth Military Medical University Press, 2013.
- [13] 陈信, 袁修干. 人-机-环境系统工程生理学基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2000
CHEN Xin, YUAN Xiu-gan. Physiological Foundation of Man-Machine-Environment System[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2000.
- [14] 胡文东, 文治洪. 航空航天医学工程学[M]. 西安:第四军医大学出版社, 2013.
HU Wen-dong, WEN Zhi-hong. Aerospace Medicine & Medical Engineering[M]. Xi'an: Fourth Military Medical University Press, 2013.
- [15] RICHARD J C, LANGHORNE P A. Dynamic Flight Simulator Control System: US, 5021982[P]. 1991-06-12.
- [16] WU D S, GU H B. Adaptive Sliding Control of Six-DOF Flight Simulator Motion Platform[J]. Journal of Aeronautics, 2007, 20(5): 425—433.
- [17] RICHARD J C. Application of Experimental Derived Pilot Perceptual Angular Response Transfer Function[J]. AIAA-1988-1100, 1988: 146—153.