

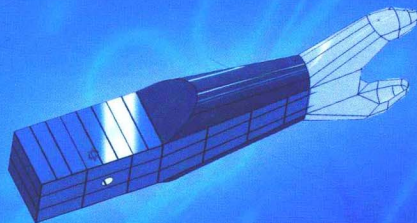


国防科技图书出版基金

持续载荷飞行 仿真技术与工程设计

Sustained Acceleration Flight Simulation
Technology and Engineering Design

由勇 由育阳 由俊生 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

持续载荷飞行 仿真技术与工程设计

Sustained Acceleration Flight Simulation
Technology and Engineering Design

由勇 由育阳 由俊生 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

持续载荷飞行仿真技术与工程设计/由勇,由育阳,由俊生著. —北京:国防工业出版社,2013.9

ISBN 978-7-118-08578-5

I. ①持... II. ①由... ②由... ③由... III. ①飞行载荷—计算机仿真 IV. ①V215.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 121258 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 19¼ 字数 360 千字

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 78.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金

第六届评审委员会组成人员

主任委员	王 峰			
副主任委员	宋家树	蔡 镭	杨崇新	
秘书长	杨崇新			
副秘书长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

前 言

伴随着科学技术的发展和国防建设的需求,军用飞机在不断地更新换代。新型高性能战斗机不断推出,其性能主要表现在高机动性、先进的火力打击装备和隐身技术。飞机的高性能产生的非常加速度也给飞行员带来了影响,因此,有必要研究人在飞行载荷环境下如何适应飞行环境和飞机的要求,完成飞行作战任务,包括飞行人员、医学和心理选拔;飞行人员的健康维护和鉴定;飞行的生理保障;飞行的生理心理训练;实现新型飞机高性能的重要任务,同时研究新型飞机如何适应人的心理生理要求,以便更好地发挥其效能。

研究新型飞机的防护救生装备的生理学问题,飞机设计人员的人—机系统工程问题,也是研制新型飞机的必要组成部分。针对上述问题,研究有持续载荷的飞行仿真训练系统,能模拟在空中飞行载荷感觉的环境;能训练飞行员在有飞行载荷状态下,高 G 值大载荷飞行状态的超重技能训练;能研究飞行员对新型飞机高机动性的适应;能研究新型高性能飞机如何适应人的生理心理要求。

有持续载荷的飞行模拟器,是在以往的飞行模拟器和载人离心机的相关技术基础上发展的。持续载荷飞行仿真系统是典型的人在回路实时仿真系统,是飞行仿真和载人离心机两大技术领域发展的集成。本书以持续载荷飞行模拟器为背景,讲述了持续载荷飞行仿真建模理论和方法、仿真计算机、软硬件设置、仿真环境设备(含视景系统、综合航行驾驶系统、远距操纵系统、火控系统、音响系统等)、航空医学监测系统,同时对载人离心机的控制、高载荷运动平台、安全和环境等系统进行了分析。

本书在编写过程中,结合了作者 40 余年航空工程和系统仿真研究的科研经验和成果,得到了空军工程大学、哈尔滨工业大学、北京航空航天大学、空军第一飞行学院、空军第二航空学院、空军航空医学研究所、空军第八研究所、空军军训研究所、北京蓝天模拟器研究中心、中国大电机研究所、天津传动研究所、沈阳飞机制造公司、哈尔滨飞机制造公司等单位的专家、学者的指导,借鉴或直接引用了有关专家的论文和著作,在此一并表示衷心的感谢!希望本书的出版,能够为系统仿真和航空医学载人离心机技术研究领域提供有价值的参考。

有持续载荷飞行仿真技术研究,目前处于研究发展初期阶段,参考和可直接借鉴的资料有限,故本书会有不妥之处,仅供相关专家、学者参考,希望在相关理论研究、实验研究和仿真研究工作中进行验证,以推进飞行仿真技术向有持续载荷感觉、人体感知、人一机一环境等高逼真度仿真前沿技术发展。欢迎对本书批评指正。

作者

2012 年 12 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 定义	1
1.3 飞机发展的训练要求	4
1.4 飞行空气动力学研究	6
1.5 飞行载荷对人体影响	8
1.6 持续载荷飞行环境的抗荷与正压呼吸	11
1.7 载人离心机的发展	13
1.8 持续载荷飞行仿真技术特点	21
1.9 持续载荷飞行仿真技术发展概况	23
第2章 飞行仿真技术	27
2.1 定义	27
2.2 飞行仿真技术特点	28
2.3 飞行仿真技术发展概况	28
2.4 飞行模拟器的研制发展	29
第3章 飞行载荷对人体影响	37
3.1 飞行载荷对人体的生理影响	37
3.2 飞行加速度对人的影响	38
3.3 飞行载荷对心理品质的影响	54
3.4 持续载荷飞行错觉模拟器	58
第4章 持续载荷仿真的航空医学系统	61
4.1 概述	61
4.2 加速度生理仿真研究	62
4.3 飞行员抗荷措施	62
4.4 医学加速度耐力训练	63
4.5 持续载荷模拟器医学监测	64
4.6 飞行加速度系统防护	68
第5章 持续载荷飞行模拟器工程设计	73
5.1 关键技术研究	73

5.2	持续载荷飞行模拟器总体技术设计	99
5.3	分系统设计(设计方案实例)	119
5.3.1	飞行模拟座舱	119
5.3.2	座舱仪表仿真	122
5.3.3	座舱大气仪表	122
5.3.4	航向姿态指示仪表	123
5.3.5	屏显示仪表仿真	124
5.3.6	模拟综合驾驶航行系统	124
5.3.7	模拟综合导航系统	128
5.3.8	模拟航行驾驶仪表	131
5.3.9	模拟导航操纵	132
5.3.10	惯性导航系统仿真	135
5.3.11	模拟垂直航向综合信息系统	138
5.3.12	导航计算机	139
5.3.13	模拟大气数据信息系统	139
5.3.14	模拟飞行自动控制系统	141
5.3.15	模拟飞行操纵系统	144
5.3.16	军械火控系统仿真	153
5.3.17	综合瞄准系统	156
5.3.18	火控显示系统	158
5.3.19	通信系统	166
5.3.20	发动机系统仿真	167
5.3.21	音响系统	171
5.3.22	视景系统	174
5.3.23	OpenGL 技术	199
5.4	持续载荷飞行仿真软件	225
5.4.1	概述	225
5.4.2	数学模型基础	226
5.4.3	飞行仿真模型的组成	227
5.4.4	建模方法	228
5.4.5	坐标轴系转换	233
5.4.6	计算机辅助计算	234
5.4.7	多项式插值法	234
5.4.8	动态飞行仿真数据库	238
5.4.9	飞行仿真数据库的开发	241
5.4.10	持续载荷飞行仿真数据库的开发	242

5.4.11 数据库开发主要问题	243
5.5 持续载荷飞行模拟器可行性论证	246
5.5.1 概述	246
5.5.2 研制歼击机飞行仿真模拟系统的必要性	246
5.5.3 初步总体技术方案论证情况	253
第6章 持续飞行载荷运动平台研究设计	257
6.1 高载荷运动平台设计方案	257
6.1.1 主要功能	257
6.1.2 设计原则	258
6.1.3 设计要求	258
6.1.4 飞行模拟器高载荷运动平台工作所需力矩	258
6.2 飞行模拟器高载荷运动平台采用的材料	259
6.3 结构的静强度分析	259
6.3.1 滚转环	259
6.3.2 连接轴	262
6.3.3 旋转臂	265
6.3.4 吊篮舱强度计算	272
6.4 结构的疲劳强度分析	276
6.4.1 旋转臂的疲劳强度	276
6.4.2 吊篮舱的疲劳强度	277
6.4.3 支架和大轴的疲劳强度	278
6.5 固有频率	278
6.6 结论	280
第7章 飞行指挥控制与管理评估系统	281
7.1 概述	281
7.2 飞行指挥控制系统的组成	281
7.3 飞行指挥控制系统的主要作用	281
7.3.1 飞行指挥控制台	282
7.3.2 工程师控制台	282
7.3.3 医学监测控制台	283
7.3.4 飞行与航医准备室	284
7.3.5 飞行演示讲评室	284
7.3.6 能源供给控制室	284
7.3.7 资料、备件、维修工作室	284
7.3.8 安全管理与救护站	285
7.4 工程管理与评估系统	285

7.4.1 飞行仿真系统工程管理的发展和形成 285

7.4.2 持续载荷飞行仿真系统生产过程的特点 286

7.4.3 持续载荷飞行仿真系统质量管理体系 287

7.4.4 持续载荷飞行仿真工程管理的內容 287

7.4.5 持续载荷飞行仿真工程管理目标 288

7.4.6 持续载荷飞行仿真系统生产计划 288

7.4.7 持续载荷飞行仿真系统的质量计划 288

7.4.8 持续载荷飞行仿真系统的过程控制 289

参考文献..... 290

Contents

Chapter1	Introduction	1
1.1	Panorama	1
1.2	Definition	1
1.3	Training Requirements of Plane Development	4
1.4	Study of Flight Aerodynamics	6
1.5	Body Affect of Flight Load	8
1.6	Anti - G And Positive Pressure Respiration of Sustained Acceleration Flight	11
1.7	Development of Human Centrifuge	13
1.8	Technology Specialty of Sustained Acceleration Flight Simulation	21
1.9	Development of Sustained Acceleration Flight Simulation	23
Chapter 2	Technology of Flighht Simulation	27
2.1	Definition	27
2.2	Technology Specialty of Flighht Simulation	28
2.3	Development of Flighht Simulation Technology	28
2.4	Development of Flighht Simulation Manufacture	29
Chapter 3	Human Body Affect of Flight Load	37
3.1	Human Physiology Affect of Flight Load	37
3.2	Human Body Affect of Flight Acceleration	38
3.3	Psychological Trait Affect of Flight Load	54
3.4	Sustained Acceleration Flight Illusion Simulator	58
Chapter 4	Aviationmedicine System of Sustained Acceleration	
	Emulate	61
4.1	Panorama	61
4.2	Simulate Study of Acceleration Physiology	62
4.3	Pilot Antigravity Measure	62
4.4	Medicine Acceleration Resistance Training	63
4.5	Medicine Inspect of Safs	64

4.6	Defend System of Flight Acceleration	68
Chapter 5	Engineering Design of Safs	73
5.1	Study of Key Technology	73
5.2	Overall Technology Design of Safs	99
5.3	Design of Subsystem(Design of Example)	119
5.3.1	Flight Simulation Cockpit	119
5.3.2	Cockpit Instrument Simulation	122
5.3.3	Cockpit Atmosphere Instrument	122
5.3.4	Course Carriage Indication Instrument	123
5.3.5	Screen Display Instrument Simulation	124
5.3.6	Simulation of Complex Drive Navigation System	124
5.3.7	Simulation of Complex Navigation System	128
5.3.8	Simulation of Drive Navigation Instrument	131
5.3.9	Simulation of Navigation Control	132
5.3.10	Simulation of Inertia Navigation System	135
5.3.11	Simulation of Apeak Course Complex Information Systems	138
5.3.12	Navigation Computer	139
5.3.13	Simulation of Atmosphere Data Information Systems	139
5.3.14	Simulation of Flight Auto Control Systems	141
5.3.15	Simulation of Flight Control Systems	144
5.3.16	Simulation of Ordnance Fire Control Systems	153
5.3.17	Complex Collimate Systems	156
5.3.18	Fire Control Display Systems	158
5.3.19	Communication Systems	166
5.3.20	Simulation of Engine Systems	167
5.3.21	Sound Systems	171
5.3.22	Inspect Sight Systems	174
5.3.23	Technology of Opengl	199
5.4	Simulate Softeare of Safs	225
5.4.1	Panorama	225
5.4.2	Base of Mathematics Model	226
5.4.3	Composed of Flight Simulation Model	227
5.4.4	Modeling Method	228
5.4.5	Rotation System Conversion	233
5.4.6	Computer Assistant Account	234
5.4.7	Polynomial Interpolation	234

5.4.8	Dynamic Flight Simulation Database	238
5.4.9	Simulation Database Programme	241
5.4.10	Safs Database Programme	242
5.4.11	Primarily Question in Database Programme	243
5.5	Feasibility Argumentation of Safs	246
5.5.1	Panorama	246
5.5.2	Requirement of Study Fighter Plane's Safs	246
5.5.3	Argumentation of Accidence Technology Plan	253
Chapter 6	Safs Movement Flat Study And Design	257
6.1	Safs Movement Flat Design Plan	257
6.1.1	Primarily Function	257
6.1.2	Design Principle	258
6.1.3	Design Require	258
6.1.4	Safs Movement Flat's Moment	258
6.2	Safs Movement Flat's Material	259
6.3	Static Strength Analysis of Configuration	259
6.3.1	Roller Ring	259
6.3.2	Connect Axes	262
6.3.3	Circumrotate Arm	265
6.3.4	Strength Analysis of Nacelle	272
6.4	Fatigue Strength Analysis of Configuration	276
6.4.1	Fatigue Strength Analysis of Circumrotate Arm	276
6.4.2	Fatigue Strength Analysis of Nacelle	277
6.4.3	Fatigue Strength Analysis of Bracket and Primarily Axes	278
6.5	Inherence Frequency	278
6.6	Conclusion	280
Chapter 7	Flight Command Control And Management	281
	Evaluation System	281
7.1	Panorama	281
7.2	Composed of Flight Command Control System	281
7.3	The Main Role of Flight Command Control System	281
7.3.1	Flight Command Console	282
7.3.2	Engineer Console	282
7.3.3	Medicine Inspect Console	283
7.3.4	Flight And Flight Surgeon Prepare Room	284
7.3.5	Flight Demonstrate Comment Room	284

7.3.6 Power Supply Control Room 284

7.3.7 Data, Spare Part, Maintain Room 284

7.3.8 Safety Management and Aid Post 285

7.4 Engineering Management and Evaluation System 285

7.4.1 Development and Form of Flight Simulation System
Engineering Management 285

7.4.2 Safs's Manufacture Process Specialty 286

7.4.3 Safs's Quality Control System 287

7.4.4 Safs's Engineering Management Content 287

7.4.5 Safs's Engineering Management Target 288

7.4.6 Safs's Manufacture Process Plan 288

7.4.7 Safs's Quality Control Plan 288

7.4.8 Safs's Process Control Plan 289

References 290

第1章 绪 论

1.1 概 述

持续载荷飞行仿真技术主要是研究高性能战斗机的飞行载荷($-3g \sim +9g$)对飞行员和飞机,对飞行员持续载荷飞行技能和心理、生理承受能力的影响,以及对飞机高载荷防护设备功能进行分析,为研究飞行载荷对人的影响、持续载荷飞行训练方法,研制持续载荷飞行模拟器提供技术理论依据。

高性能战斗机在飞行训练和空战机动飞行中,经常处于持续载荷飞行环境。持续载荷飞行技术与抗荷正压呼吸技巧已成为充分发挥战机先进性能、实现战斗力的关键因素之一。同时,高载荷又可能给飞行员造成“灰视”、“黑视”和加速度诱发意识丧失(G -induced Loss of Consciousness, G -LOC),危及飞行安全。因此,飞行高载荷防护成为飞行训练的重要技术,也是研究加速度对人体影响的重要课题。在实际飞行训练中,战术飞行课目大部分含有高载荷动作,要求飞行员经常反复训练,以熟练掌握持续载荷飞行技术和高 G 值防护能力,适应高性能战斗机作战训练需要。

持续载荷飞行仿真技术已受到世界各国空军、海军和陆军航空兵的极大重视,在航空医学和飞行仿真领域得到迅速发展。

1.2 定 义

持续载荷飞行仿真技术是集飞行仿真技术与载人离心机技术于一体,以相似原理、控制理论、计算机技术、信息技术及应用领域的专业技术为基础,以计算机和各种物理效应设备为工具,利用系统模型对实际的或设想的系统进行动态试验研究的一门综合技术。

持续载荷飞行模拟器(Sustained Acceleration Flight Simulator, SAFS),相当于美国 ETC 公司 2006 年最新推出的真实的战术飞行模拟器(Authentic Tactical Flight Simulator, ATFS),其特点是既涵盖了飞行仿真系统的技术,又融合了航空生理学、心理学研究成果和飞行加速度防护技术的发展成就。

相关的飞行模拟器技术发展受到持续飞行载荷(含高载荷)模拟困难的影响,多年来一直处于无持续载荷感觉模拟状态,近年发展的三自由度/六自由度运动平台,也只能模拟飞行的瞬时加速度,在运输机、轰炸机等飞行模拟器中,得