



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

民机驾驶舱人机工效综合 仿真理论与方法研究

Theory and Methodology of
Integrated Simulation of Ergonomics for Civil Flight Deck

陈迎春 主 编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

民机驾驶舱人机工效 综合仿真理论与方法研究

Theory and Methodology of Integrated Simulation of
Ergonomics for Civil Flight Deck

陈迎春 主 编



上海交通大学出版社

内容提要

本书汇集了国内在航空人机工效领域走在前沿的北京航空航天大学、西北工业大学、上海交通大学、复旦大学、中国民航大学等院校,以及中国商用飞机有限公司负责承担的国家重点基础研究计划(973 计划)项目的研究成果。

论文集收集并筛选了各个课题在前两年研究过程中在国内外期刊、会议上发表的部分有代表性的研究论文,涵盖了理论与方法、建模仿真、实验研究 3 个部分:理论与方法部分以人机工效基础理论、分析和评价方法研究为主;建模仿真部分以人机工效研究对象的建模和仿真方法研究为主;实验研究部分主要包括前期研究过程中的基础实验研究,研究结果可为仿真建模提供依据。

图书在版编目(CIP)数据

民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究/陈迎春

主编. —上海:上海交通大学出版社,2013

(大飞机出版工程)

ISBN 978 - 7 - 313 - 09717 - 0

I. ①民… II. ①陈… III. ①民用飞机—座舱—
工效学—仿真—研究 IV. ①V223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 099930 号

民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究

主 编: 陈迎春

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 韩建民

印 制: 浙江云广印业有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 490 千字

版 次: 2013 年 12 月第 1 版

书 号: ISBN 978 - 7 - 313 - 09717 - 0/V

定 价: 98.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021 - 64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 25

印 次: 2013 年 12 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0573 - 86577317

大飞机出版工程

丛书编委会

总主编

顾诵芬（中国航空工业集团公司科技委副主任、两院院士）

副总主编

金壮龙（中国商用飞机有限责任公司董事长）

马德秀（上海交通大学党委书记、教授）

编委（按姓氏笔画排序）

王礼恒（中国航天科技集团公司科技委主任、院士）

王宗光（上海交通大学原党委书记、教授）

刘洪（上海交通大学航空航天学院教授）

许金泉（上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院工程力学系主任、教授）

杨育中（中国航空工业集团公司原副总经理、研究员）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员）

汪海（上海交通大学航空航天学院副院长、研究员）

沈元康（中国民用航空局原副局长、研究员）

陈刚（上海交通大学副校长、教授）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员）

林忠钦（上海交通大学常务副校长、院士）

金兴明（上海市经济与信息化委副主任、研究员）

金德琨（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

崔德刚（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授）

傅山（上海交通大学航空航天学院研究员）

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展,应用和体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索 and 不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有重要的现实意义和深远的历史意义。

2008 年 5 月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教 1 时,亲自撰写了《飞机性能捷算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》、《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理 50 多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、

工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》),由美国堪萨斯大学2008年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》)等国外最新科技的结晶;国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》、《民用飞机气动设计》等专业细分的著作;也有《民机设计1000问》、《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助,体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养,有益于航空工业的发展,有益于大飞机的成功研制。同时,希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空,并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009年12月15日

序

大型飞机是《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中规划的重大专项,是建设创新性国家和新时期改革开放的标志性工程。其中中国商用飞机有限责任公司承担了大型客机项目并统筹干线客机和支线客机的发展。

飞机驾驶舱是飞行员与飞机交互的唯一界面,在飞行中起着至关重要的作用。因此在飞机研制过程中,驾驶舱设计占有举足轻重的地位,其中,对驾驶舱与飞行员之间交互行为规律的人机工效学研究受到了国内外航空界的普遍重视。科技部对中国商用飞机有限责任公司承担的大型客机研发寄予厚望,于 2009 年在 973 计划中立了“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”项目。目的是通过开展基础研究,进行相关积累,以提高我国民机驾驶舱人机界面设计的原始创新能力。

“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”项目是 973 计划中首个关于人机工效研究的重大基础项目。项目以中国商用飞机有限责任公司为依托单位,由上海飞机设计研究院 C919 大型客机常务副总设计师陈迎春担任首席科学家,集中了上海飞机设计研究院、北京航空航天大学、西北工业大学、上海交通大学、复旦大学以及中国民航大学等院校的研究队伍开展研究工作。研究的主要内容是通过综合人-机-环全方位信息,在仿真的环境和任务过程中进行飞行员建模、飞行驾驶舱环境建模、界面仿真、驾驶舱人机工效评估等研究,明确飞行员与驾驶舱环境之间的相互作用机理,达到服务民用航空领域,指导型号设计的目的。项目组在首席科学家带领下,聘请民航总局、航空公司、航空院校的专家成立了项目专家组,并多次向科技部 973 项目责任专家进行汇报,保证了项目研究方向的正确性。项目组主要成员在项目专家的帮助下赴南方航空公司、东方航空公司等相关单位进行了大量的需求调研,并与飞行员进行座谈交流,明确了项目研究的目标和要求。项目参研单位在收集国内外相关研究进展的基础上把民

机驾驶舱人-机-环境综合作用机理作为项目研究目标,并以大型客机为研究对象进行了大量实验、验证,部分研究成果在型号研究中已得到应用,实现了项目立项的宗旨。项目执行过程中组织管理有效,研究团队精诚合作。通过项目研究还培养了一批优秀的青年科技人员,并已初步形成了一支具有国际水平的研究队伍。

本论文集收集了该项目组在前两年研究中发表在国内外期刊、会议上的部分代表性研究论文。从论文发表内容的分布情况来看,前两年的研究工作主要集中于理论与方法的研究以及仿真平台的构建,并开展了部分实验研究。这与项目组前期研究计划相吻合。从发表的论文来看,具有较高的学术水平,体现了973计划的理论高度。这表明在前期有足够的积累后,项目组有望在后续研究中集中开展仿真及实验验证工作,达到解决人机工效综合评估方法体系的重大基础问题,为民机安全、高效、舒适的驾驶舱设计提供有力支持的目的,并在此基础上形成具有我国创新特点的驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法。

民机驾驶舱人机工效以飞行员-驾驶舱-环境作为研究的基本对象,是一个交叉性和工程性背景很强的研究领域,其中需要开展研究的内容很多。项目研究已经取得的成果为项目的后续研究和民机驾驶舱人机工效的未来发展奠定了良好基础。论文集的出版,将促进人机工效学学科理论方法的交流,创新性研究成果的推广,对该学科的理论发展和设计实践均有重要的推动作用和现实意义。

王浚

2012年10月22日

中航工业金城南京机电液压工程研究中心

NANJING ENGINEERING INSTITUTE OF AIRCRAFT SYSTEMS, JINCHENG, AVIC

中航工业金城南京机电液压工程研究中心是由原中国航空附件研究所整体与原金城集团有限公司航空业务部分组成，是我国航空机载机电系统的研发中心和生产基地，具有完整的预先研究、型号研制、设计制造、试验交付和维修服务的手段和能力。中心现有职工 3000 余人，其中研究员 40 余人，高级专业技术人员 300 余人，中级专业人员及工人技师 600 余人。中心设有 7 个研究部、14 个分厂、26 个部处机关和 6 个专业子公司。

南京机电液压工程研究中心现有的专业研究领域包括：飞机机电控制系统、飞机液压操纵系统、飞机燃油系统、飞机环境控制系统、飞机第二动力系统、飞机电源传动系统等。

南京机电液压工程研究中心拥有完善的军工产品质量保证体系和计量检测体系，集综合性多专业的技术优势和综合实力，先后为 60 多个机型 37 大机电系统提供产品和配套附件。目前拥有的空中加油装备、恒速传动装置、应急动力装置、空气涡轮起动机、燃气涡轮起动机、高压除水环境控制系统、三轮涡轮冷却器、高性能电液伺服阀、燃油泵、飞机地面操纵系统等核心技术和产品，在国内具有不可替代性；先后获得 4 项国家级科技进步特等奖。

南京机电液压工程研究中心拥有 BOEING 系列、AIRBUS 系列、TY-154、BAE-146、运七等多种机型一千多项附件的民航产品维修许可权，民航机电产品维修居于国内领先地位。

南京机电液压工程研究中心共获省部级以上科技奖 300 多项。其中，国家级科技进步特等奖四项；国家级科技进步奖 20 项。

南京机电液压工程研究中心先后与汉胜、派克、霍尼韦尔、利勃海尔等国际知名公司开展深入合作，组建合资公司，并为波音、空客系列提供燃油、液压、环控等系统及产品。

“传承优势，创新发展，成为国内领先、国际一流的机电研究中心”，是南京机电液压工程研究中心的宏伟愿景，也是全体员工矢志不渝的奋斗目标。



中国金城 世界金城

传承优势 创新发展 成为国内领先，国际一流的航空机电研究中心



航空报国 强军富民

地址：南京市江宁区水阁路33号

邮编：211106

传真：025-51819900

此为试读，需要完整PDF请访问 www.pdfbook.com

大飞机出版工程

书 目

一期书目(已出版)

- 《超声速飞机空气动力学和飞行力学》(俄译中)
- 《大型客机计算流体力学应用与发展》
- 《民用飞机总体设计》
- 《飞机飞行手册》(英译中)
- 《运输类飞机的空气动力设计》(英译中)
- 《雅克-42M 和雅克-242 飞机草图设计》(俄译中)
- 《飞机气动弹性力学及载荷导论》(英译中)
- 《飞机推进》(英译中)
- 《飞机燃油系统》(英译中)
- 《全球航空业》(英译中)
- 《航空发展的历程与真相》(英译中)

二期书目(已出版)

- 《大型客机设计制造与使用经济性研究》
- 《飞机电气和电子系统——原理、维护和使用》(英译中)
- 《民用飞机航空电子系统》
- 《非线性有限元及其在飞机结构设计中的应用》
- 《民用飞机复合材料结构设计与验证》
- 《飞机复合材料结构设计与分析》(英译中)
- 《飞机复合材料结构强度分析》
- 《复合材料飞机结构强度设计与验证概论》
- 《复合材料连接》
- 《飞机结构设计与强度计算》
- 《飞机材料与结构的疲劳与断裂》(英文版)

三期书目

- 《适航理念与原则》
- 《适航性:航空器合格审定导论》(译著)

《民用飞机系统安全性设计与评估技术概论》
《民用航空器噪声合格审定概论》
《机载软件研制流程最佳实践》
《民用飞机金属结构耐久性与损伤容限设计》
《机载软件适航标准 DO-178B/C 研究》
《运输类飞机合格审定飞行试验指南》(编译)
《民用飞机复合材料结构适航验证概论》
《民用运输类飞机驾驶舱人为因素设计原则》

四期书目

《航空燃气涡轮发动机工作原理及性能》
《航空发动机结构》
《航空发动机结构强度设计》
《风扇压气机气动弹性力学》(英文版)
《燃气轮机涡轮内部复杂流动机理及设计技术》
《先进燃气轮机燃烧室设计研发》
《燃气涡轮发动机的传热和空气系统》
《航空发动机适航性设计技术导论》
《航空发动机控制》
《气动声学基础及其在航空推进系统中的应用》(英文版)
《叶轮机内部流动试验和测量技术》
《航空涡轮风扇发动机试验技术与方法》
《航空轴流风扇压气机气动设计》
《燃气涡轮发动机性能》(译著)

其他书目

《民用飞机环境监视系统》
《民用飞机飞行管理系统》
《飞机内部舒适性设计》(译著)
《航空航天导论》
《航空计算工程》
《涡动力学》(英文版)
《尾涡流控制》(英文版)
《动态工程系统的可靠性分析:快速分析方法和航空航天应用》(英文版)
《国际航空法导论》(译著)

目 录

第一篇 理论与方法

- 基于感知控制论的系统分析与设计方法 3
- 飞行员失误机理及失误修复研究 11
- 白光 LED 颜色质量评价方法研究 18
- 基于视觉监控的操作手势轨迹分布模式研究 26
- 基于信息处理模型的机组行为与事故关系的研究 34
- 大型客机飞行员操作程序综合评价 40
- 机组工作负荷评价新方法及其应用 50
- 飞行员视觉信息流强度模拟及适人性分析 60
- 复杂人机智能系统功能分配方法综述 70
- 基于非任务相关 ERP 技术的飞行员脑力负荷评价方法 78
- CREAM 失误概率预测法在驾驶舱机组判断与决策过程中的应用 86
- Polymorphic Cumulative Learning in Integrated Cognitive Architectures for Analysis of Pilot-Aircraft Dynamic Environment 94
- Using NASA-TLX to Evaluate the Flight Deck Design in Design Phase of Aircraft 103
- A Brief Review on Physiological and Biochemical Evaluations of Human Mental Workload 111
- Civil Cockpit Human-machine Interface Evaluation 129
- Man-machine Function Allocation Based on Uncertain Linguistic Multiple Attribute Decision Making 138
- Pilot Attention Allocation Model Based on Fuzzy Theory 151
- Study on the Information Coding Design Humanity of Man-machine Display Interface 166

Applying Situation Awareness to Human-machine Interface Design of Aviation
173

Enhance Team Situation Awareness by Sharing Information to Avoid Human
Errors in Aviation 180

第二篇 建模仿真

飞行员信息处理时间计算模型 189

驾驶舱飞行员认知行为一体化仿真建模 197

LED 在民用飞机仪表板泛光照明中的应用 206

大型客机驾驶舱气流热仿真及舒适性评价 212

基于信息处理和事故链原理的结构化飞行员差错模型 221

Research on Modeling Cognitive Behaviors of Pilot Processing Alarm in Cockpit 231

An Intelligent Lighting Control System Based on Ergonomic Research 241

Flight-Safety-Oriented Virtual Pilot Modeling with the Embodiment of Distributed
Human Factors 249

The Research of Crew Workload Evaluation Based on Digital Human Model 265

A Method of Analysis Integrating HCR and ETA Modeling for Determining Risks
Associated with Inadequate Flight Separation Events 270

第三篇 实验研究

材料熟悉程度对长时记忆提取过程影响研究 289

基于飞机驾驶舱警告信息的 Fan 效应研究 294

Target-pointing Movement Performance for HCI Design 300

Usability of Using Polarized Filter for Reading Lamp to Reduce Disturbing
Reflected Glare 307

The Effect of LED Lighting on Color Discrimination and Preference of the Elderly
315

Effects of Correlated Color Temperature on Spatial Brightness Perception 326

An Integrated Experimental Platform for the Crew Workload Measurement 336

The Precision Analysis of the Eye Movement Measurement System 346

Effects of Mental Workload on Long-latency Auditory-evoked -potential, Salivary
Cortisol, and Immunoglobulin A 354

The Effects of Perceptual Load Related to Flight Task on Auditory ERPs 364

Study of Fatigue Measurement Based on Eye Tracking Technique 375

第一篇 理论与方法

