



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

民机飞行控制技术系列
主编 李明

飞行仿真技术

Flight Simulation Technology

高亚奎 朱江 林皓 等著



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



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

民机飞行控制技术系列

主 编 李 明

飞行仿真技术

Flight Simulation Technology

高亚奎 朱 江 林 皓 等著



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

内容简介

本书以飞行控制系统研制中的飞行仿真技术和飞行员培训中的仿真技术为主线,结合作者多年从事飞机研制工作的经验,介绍了飞行仿真技术的基本概念、理论方法及其应用,重点介绍了贯穿于飞机研制过程中的飞机动力学、发动机、起落装置、飞行控制系统、航电系统和机电系统等的建模与仿真技术,以及相关的飞行仿真系统和设备,同时介绍了飞行员培训所必需的飞行仿真环境的建模与仿真技术。内容新颖,深入浅出,注重理论联系实际,密切结合工程应用。

本书旨在培养读者将飞行仿真技术与需求分析方法紧密结合起来,使飞行仿真技术研究及飞行仿真系统和设备研发更具针对性、实用性和先进性。本书适用于从事航空、航天、航海、兵器等方面研究和仿真的工程技术人员及高校教师参考,亦可作为高校高年级学生和研究生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞行仿真技术/高亚奎,朱江,林皓等著. —上海:上海交通大学出版社,2015

大飞机出版工程

ISBN 978-7-313-14246-7

I. ①飞… II. ①高…②朱…③林… III. ①飞行模拟 IV. ①V211.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 309073 号

飞行仿真技术

著 者:高亚奎 朱 江 林 皓 等

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:上海万卷印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:673 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-14246-7/V

定 价:135.00 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:34

印 次:2015 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:021-56928211

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、中国科学院和中国工程院院士)

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(上海交通大学原党委书记、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、中国工程院院士)

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副院长、教授)

许金泉(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授)

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(上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员)

沈元康(中国民用航空局原副局长、研究员)

陈 刚(上海交通大学原副校长、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、中国工程院院士)

金兴明(上海市政府副秘书长、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(上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员)

编 委 会

主 编

李 明 (中航工业沈阳飞机设计研究所科技委委员、中国工程院院士)

副主编

陈宗基 (北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授)

张汝麟 (中航工业西安飞行自动控制研究所原副总工程师、研究员)

张文军 (上海交通大学原副校长、教授)

编 委 (按姓氏笔画排序)

王少萍 (北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院副院长、教授)

车 军 (中航工业西安飞行自动控制研究所研究员)

朱 江 (中航工业第一飞机设计研究院研究员)

朱建设 (中国航空工业集团公司研究员)

江 驹 (南京航空航天大学研究生院常务副院长、教授)

杨 晖 (中航工业航空动力控制系统研究所所长、研究员)

杨朝旭 (中航工业成都飞机设计研究所副总工程师、研究员)

张 平 (北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授)

张翔伦 (中航工业西安飞行自动控制研究所研究员)

宋科璞 (中航工业西安飞行自动控制研究所所长、研究员)

范彦铭 (中航工业沈阳飞机设计研究所副总设计师、研究员)

周元钧 (北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授)

赵京洲 (中国商飞上海飞机设计研究院副总设计师、研究员)

胡士强 (上海交通大学航空航天学院副院长、教授)

高亚奎 (中航工业第一飞机设计研究院副总设计师、研究员)

章卫国 (西北工业大学自动化学院党委书记、教授)

敬忠良 (上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授)

程 农 (清华大学自动化系导航与控制研究中心主任、教授)

戴树岭 (北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授)

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、比重大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和运用,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,具有十分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《飞机性能及算法》,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

大飞机工程是我国推进创新型国家建设的重要标志性工程。为了配合大飞机的研制,在国家出版基金的资助下,上海交通大学出版社成功策划出版了“大飞机出版工程”,旨在为大飞机研制提供智力支持。“民机飞行控制技术系列”是“大飞机出版工程”系列图书之一。

现代飞行控制技术是现代军机、民机的主要关键技术之一。以电传操纵技术为核心的现代飞行控制系统是现代飞机的飞行安全关键系统,是现代飞机上体现信息化与机械化深度融合的典型标志。飞行控制技术也是大型民机确保安全性、突出经济性、提高可靠性、改善舒适性和强调环保性的重要技术。

1903年,莱特兄弟在前人研究的基础上,重点解决了飞机三轴可控问题,实现了动力飞机的首次飞行。此后的60年,驾驶员利用机械操纵系统来控制稳定飞机飞行,形成了经典的飞行控制系统。飞机机械操纵系统在自动控制技术的辅助下,解决了对飞机性能和任务能力需求不断增长所遇到的一些重大问题——稳定性,稳定性与操纵性的矛盾,精确、安全的航迹控制,以及驾驶员工作负荷等问题。20世纪60年代至70年代初发展起来的主动控制技术和电传飞行控制系统对飞机发展具有划时代的意义,改变了传统的飞机设计理念和方法论,使飞机的性能和执行任务的能力上了一个新台阶。这两项技术已成为第三代军机和先进民机的典型标志,同时也为第四代军机控制功能综合以及控制与管理综合建立了支撑平台。在人们对飞机飞行性能的不断追求和实现的过程中,飞行控制系统发挥着越来越重要的作用,飞行控制系统的创新研究、优化设计和有效工程实现对现代飞机的功能和性能的提高起着至关重要的作用。

我国的军机飞行控制系统经过五十多年的研究、设计、试验、试飞、生产和使用的实践,已积累了丰富的经验,并取得了大量的成果,在各型军机上得到了广泛的应用,但民机飞行控制系统的研发经验仍相对薄弱。总结现代军机飞行控制系统研发经验,分析和借鉴世界先进民机飞行控制系统新技术,对助力我国大型民机的自主研发是十分必要且意义重大的。

本系列丛书编著目标是:总结我国军/民领域的飞行控制技术的理论研究成果和工程经验,介绍国外最先进的民机飞行控制技术的理念、理论和方法,助力我国科研人员以国际先进水平为起点,开展我国民机飞行控制技术的自主研究、开发和原始创新。本系列丛书编著的指导思想和原则是:内容应覆盖民机飞行控制技术的各重要专业;要介绍当今重要的、成功的型号项目,如波音系列和空客系列的飞行控制技术,也要重视方向性的探索和研究;要简明介绍技术与方法的理论依据,以便读者知其然,也知其所以然;要概述民机飞行控制技术的各主要专业领域的基本情况,使读者有全面的、清晰的了解;要重视编著的准确性以及全系列丛书的一致性。

本系列丛书包括《飞行控制系统设计和实现中的问题》《民机液压系统》《民机飞行控制系统设计的理论与方法》《民机传感器系统》等专著。其中王少萍教授的专著《民机液压系统》(英文版),已经输出版权至爱思唯尔(Elsevier)出版集团,增强了我国民机飞控技术的国际影响力。

在我国飞行控制领域的资深专家李明院士、陈宗基教授和张汝麟研究员的主持下,这套丛书的编委会由北京航空航天大学、清华大学、西北工业大学、南京航空航天大学、中航工业西安飞行自动控制研究所、中航工业沈阳飞机设计研究所、中航工业成都飞机设计研究所、中航工业第一飞机设计研究院、中航工业航空动力控制系统研究所、中国航空工业集团公司、中国商用飞机有限责任公司等航空院所和公司的飞控专家、学者组建而成。他们在飞行控制领域有着突出的贡献、渊博的学识和丰富的实践经验,他们对于本系列图书内容的确定和把关、大纲的审定和完善都发挥了不可替代的重要作用。

上海交通大学出版社“大飞机出版工程”项目组以他们成熟的管理制度和保障体系,组织和调动了丛书编委会和丛书作者的积极性和创作热情。在大家的不懈努

力下,这套图书终于完整地呈现在读者的面前。

本系列图书得到国家出版基金的资助,充分体现了国家对“大飞机工程”的高度重视,希望该套图书的出版能够达到本系列丛书预期的编著目标。我们衷心感谢参与本系列图书编撰工作的所有编著者,以及所有直接或间接参与本系列图书审校工作的专家、学者的辛勤工作,希望本系列图书能为民机飞行控制技术现代化和国产化发展做出应有的贡献!

民机飞行控制技术系列编委会

2015年3月

作者简介

高亚奎,研究员,博士生导师,享受政府特殊津贴,长期从事飞机及系统研究工作,主要研究方向为飞控系统 with 系统仿真。现任中航工业集团公司特级技术专家,中航工业一飞院副总设计师,“飞控系统一体化设计”“状态监测特种传感技术”等国防或航空重点实验室学术委员会委员。《航空计算技术》《飞行力学》等国内知名期刊编委。上海交通大学、复旦大学特聘研究员,西安交通大学、南京航空航天大学等兼职教授,西北工业大学特聘博士生导师。中国航空学会制导、导航与控制分会副主任委员,中国系统仿真学会理事,中国航空测控技术学会理事。在各种科技期刊和学术会议发表论文 60 余篇,合著《改变美国空军文化的 KC-X 新一代空中加油机》《图“话”空中加油》等。

自参加科研工作以来,先后担任过多个飞机研制副总设计师;主持完成了工信部、空军和集团多项航空科学预研课题,为推动航空技术进步做出了突出贡献。获得中国航空创建 50 周年“航空报国优秀贡献奖”和中国航空创建 60 周年“航空报国突出贡献奖”,荣立集团一等功 3 次,二、三等功 7 次,2013 年获得“航空报国金奖”三等奖;获得国家科技进步奖一等奖 1 项,省部级科技进步奖 21 项。

朱 江,研究员。长期从事飞行仿真系统设计与试验技术研究,主要研究方向为虚拟现实技术、大型仿真系统总体设计与试验验证技术。参加了多个飞机型号的研制以及相关课题预研工作,主持完成了多个项目的系统仿真设计与试验验证,在飞机型号研制中立功 8 次。先后获得省部级

科技成果一等奖 1 项、二等奖 6 项、三等奖 5 项。在各种学术刊物上发表科技论文 40 余篇。获得了陕西省国防科技工业十大创新标兵等荣誉称号。

林 皓,高级工程师。长期从事飞机系统建模、飞行控制系统设计、飞行模拟器集成测试和飞行试验规划等技术研究,主要研究方向为飞机系统级建模、控制逻辑和控制律设计、飞行模拟器集成与验证等。先后获得省部级科技成果二等奖 3 项、三等奖 3 项。在飞机型号研制中荣立一等功 1 次、二等功 2 次、三等功 1 次。在各种学术刊物上发表科技论文 10 余篇。

前 言

仿真技术是以相似原理、信息技术、系统技术及其应用领域有关的专业技术为基础,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想定的系统进行技术研究的一门综合性技术。仿真技术的应用已不仅仅限于产品或系统生产集成后的性能测试试验,仿真技术已扩大为可应用于产品研制的全过程,包括需求分析、方案论证、技术指标论证、设计分析、生产制造、试验验证、维护保障和使用培训等各个阶段。仿真技术不仅仅应用于简单的单个系统,也应用于由多个系统构成的综合复杂系统。

飞行仿真技术贯穿于飞行控制系统研制的全过程,飞行控制系统需求分析与设计要求确定、技术方案论证与设计、控制律设计与验证、地面、机上和飞行验证等工作都需要仿真技术和相关工具得以实施与完成。

飞行仿真技术支撑了飞行员的高质量教学与培训。民用飞机飞行员和战斗机飞行员的驾驶能力和作战能力都需要通过航空理论培训、技术基础性训练和全任务飞行模拟训练来完成,这些培训都离不开逼真的飞行仿真系统/设备和飞行环境来支持。

不论是飞行控制系统研制工程中的仿真技术还是飞行员培训中的仿真技术都是基于对飞机运动、动力装置、起落架装置、飞行控制系统、航电系统、机电系统以及飞行环境的建模与仿真,并对模型进行校核、验证与确认,最后建立类似于全数字仿真系统、工程模拟器、综合“铁鸟”试验台和飞行训练模拟器等飞行仿真设备与系统,以支持飞行控制系统研制与飞行员培训。它的跨学科性和跨行业性已被更多的人认识,它不仅是一类重要的、先进的科学技术,更是一门新兴的学科。世界航空强国都建立有自己的先进飞行仿真实验室,飞行仿真成为现代仿真技术发展的一个重要分支。

飞行模拟器是飞行仿真技术的最高表现形式,综合集成了计算机、网络技术、虚拟现实、软件工程、信息处理和自动控制等多个高新技术领域的知识,从总体结构上说是一个具有多层次性和包含多子系统的复杂系统。飞行模拟器这种

综合的人在回路仿真系统平台已成为与风洞试验环境、喷气发动机试验台、结构环境试验设备并列的四大航空试验研究设施,它是现代航空科研、教学和试验等不可缺少的技术设备,在飞行性能研究、飞行品质评估和飞行训练等方面都具有很高的经济价值和军事价值。

本书系统介绍了飞行仿真技术及其典型应用,是一部专门研究复杂系统建模理论、方法与技术的著作。作者结合多年型号研制工作经验,充分吸收了国内外近年来的主要研究成果,全面论述了复杂系统的基本建模理论和常用建模方法。重点讨论了飞机运动、动力装置、起落架装置、飞行控制系统、航电系统、机电系统以及飞行环境的建模与仿真的新方法和技术,并深入讨论了人们十分关心的复杂仿真系统建模的 VV&A 与可信度评估技术及其应用。

全书共分 13 个章节。第 1 章介绍了系统仿真的基本概念、原理、方法、关键技术以及飞行仿真技术的发展和等内容。第 2 章结合现代先进飞机飞行控制系统的研制流程和飞行仿真工作自身特点,介绍了飞行控制系统研制中的飞行仿真需求和主要工作。第 3 章介绍了飞行员培训体系以及飞行仿真技术在飞行员培训中的应用。第 4 章介绍了飞机运动建模与仿真的主要组成和内容,结合飞机运动仿真技术方案,给出了工程应用中的一些处理技巧和方法。第 5 章介绍了飞机使用各类动力装置以及其在飞机系统中的作用,以现代飞机燃气涡轮发动机为例,详细介绍了其建模原理、建模方法和验证方法。第 6 章介绍了起落架系统的功能、组成和工作原理,分析了不同应用需求下的起落架系统建模与仿真要求,建立了包含起落架完整动态特性的数学模型并进行了仿真建模和验证。第 7 章从飞行控制系统研制和飞行员培训的不同需求出发,分析了飞行控制系统的建模与仿真要求,给出了飞控计算机、作动器和传感器等子系统的模型建立与验证方法。第 8 章从机载航电系统的组成和原理入手,对航电系统的仿真建模要求、仿真方法和仿真构架等进行说明,并以显示、通信、导航、大气机、空中管制与防撞、雷达、飞行管理和告警等航电通用子系统为例,重点阐述了系统建模技术以及模型验证方法。第 9 章基于机电综合管理架构对液压系统、燃油系统、供电系统、环境控制系统、防火系统、照明系统和氧气系统等各机电子系统的组成、功能及系统建模做了详细介绍。第 10 章介绍了飞行环境系统的组成和功能,重点论述了视觉、听觉、力感、动感和虚拟环境系统的建模、仿真及验证方法。第 11 章重点介绍建模与仿真的校核、验证与确认等内容,包括 VV&A 的基本概念、基本原则、过程、技术与方法等。第 12 章介绍了飞行控制系统研制过程中搭建的典型飞行仿真设备与系统(包括全数字仿真系统、工程模拟器、综合“铁

鸟”试验台和飞行训练模拟器)的功能、组成及作用。第13章重点介绍飞行仿真技术的发展以及未来所面临的挑战。

本书注重理论联系实际,密切结合工程应用,提出系统建模与仿真的基本原理、计算方法和本领域当前的先进技术。本书旨在培养读者分析现实环境与建模方法之间关系的能力,帮助读者了解建模的本质,增强建模的实用性。

本书由中航工业一飞院高亚奎研究员主持编著,编写组由中航工业一飞院飞行仿真技术研究室全体工程师组成。其中第1、3、11、13章由朱江执笔,第2、4、5章由林皓执笔,第6章由刘喜藏、林皓执笔,第7章由马铭泽、赵鹏轩、鲍颖祎执笔,第8章由姬云执笔,第9章由郁健萍、时圣军、崔坚、张玲、马力、陈吉华执笔,第10章由崔坚、郁健萍、时圣军、姬云、鲍颖祎执笔,第12章由赵鹏轩、马力执笔。朱江、林皓对本书文字进行了校对工作。

本书引用了一些作者的论著及其研究成果,在此向他们表示衷心的感谢!在本书编写过程中,得到了中航工业一飞院飞控液压所同行们的支持与帮助,在此也表示感谢!

本书适用于从事航空、航天、航海和兵器等方面研究和仿真的工程技术人员和高校教师参考,亦可作为高校高年级学生和研究生的教科书。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点甚至错误,恳请读者批评指正。

作 者

2015年10月于西安

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 飞行仿真技术的发展历程	1
1.1.2 飞行仿真技术的应用现状	3
1.2 仿真分类及工作流程	5
1.2.1 仿真分类	6
1.2.2 仿真工作流程	7
1.3 模型及建模方法	11
1.3.1 模型	11
1.3.2 建模方法	12
1.4 建模与仿真的相关理论	13
1.4.1 仿真算法与体系结构	14
1.4.2 仿真语言与支撑环境	14
1.4.3 复杂系统的建模与仿真	15
1.4.4 综合自然环境的建模与仿真	16
1.4.5 分布交互式仿真	16
1.4.6 网格技术	17
1.4.7 基于仿真设计和虚拟样机	17
1.4.8 建模与仿真的校核、验证与确认	18
1.5 本书结构与主要内容	18
1.6 小结	20
参考文献	21
2 飞行控制系统研制与飞行仿真	22
2.1 概述	22
2.2 飞行控制系统组成和研制流程	23