



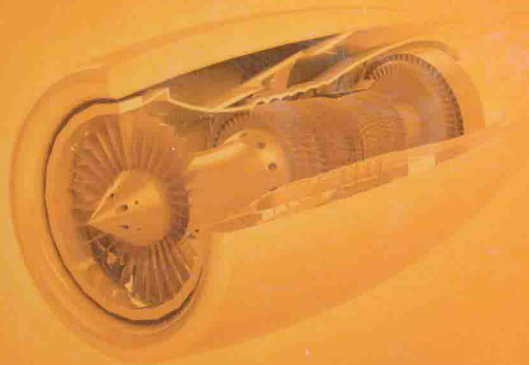
大飞机出版工程
总主编 顾涌芬

航空发动机系列
主编 陈懋章

航空燃气轮机涡轮气体动力学： 流动机理及气动设计

Turbine Aerodynamics for Aero-engine:
Flow Analysis and Aerodynamics Design

邹正平 王松涛 刘火星 杨 策 张伟昊 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

航空发动机系列

主 编 陈懋章

航空燃气轮机涡轮气体动力学： 流动机理及气动设计

Turbine Aerodynamics for Aero-engine:
Flow Analysis and Aerodynamics Design

邹正平 王松涛 刘火星 杨 策 张伟昊 著



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

内容提要

本书是关于涡轮气体动力学方面的一本专著,简要介绍了涡轮气体动力学相关概念,系统阐述了轴流涡轮、级间过渡段和后承力机匣通道、径流涡轮等内部流动机理,分析了不同维数的数值评估方法,给出了涡轮气动设计和流动控制领域的新近研究成果,并对涡轮部件涉及的多学科耦合问题进行了探讨。

本书可供从事燃气轮机涡轮设计和研究的科研技术人员、高等学校教师、研究生及高年级本科生等使用。

图书在版编目(CIP)数据

航空燃气轮机涡轮气体动力学:流动机理及气动设计/邹正平等著.

—上海:上海交通大学出版社,2014

ISBN 978-7-313-12355-8

I. ①航… II. ①邹… III. ①航空发动机—燃气轮机—气体动力学—研究 IV. ①V235.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 270319 号

航空燃气轮机涡轮气体动力学:流动机理及气动设计

著 者:邹正平等

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:苏州市越洋印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:650千字

版 次:2014年12月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-12355-8/V

定 价:138.00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:33

印 次:2014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:0512-68180638

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、中国工程院院士)

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)

航空发动机系列编委会

主 编

陈懋章(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授、中国工程院院士)

副主编(按姓氏笔画排序)

尹泽勇(中航商用飞机发动机有限责任公司总设计师、中国工程院院士)

严成忠(中航工业沈阳发动机设计研究所原总设计师、研究员)

苏 明(上海市教育委员会主任、教授)

陈大光(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授)

编 委(按姓氏笔画排序)

丁水汀(北京航空航天大学动力与能源工程学院院长、教授)

王安正(上海交通大学机械与动力工程学院教授)

刘松龄(西北工业大学动力与能源学院教授)

孙健国(南京航空航天大学能源与动力学院、教授)

孙晓峰(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授)

朱俊强(中国科学院工程热物理所副所长、研究员)

何 力(牛津大学工程科学系教授)

张绍基(中航工业航空动力机械研究所原副所长、研究员)

张 健(中航发动机控股有限公司副总经理)

李应红(空军工程大学工程学院教授、中国科学院院士)

李其汉(北京航空航天大学能源与动力学院教授)

李继保(中航商用飞机发动机有限责任公司副总经理、研究员)

李锡平(中航工业航空动力机械研究所原副总设计师、研究员)

杜朝辉(上海交通大学研究生院常务副院长、教授)

邹正平(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授)

陈 光(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授)

周拜豪(中航工业燃气涡轮研究院原副总设计师、研究员)

金如山(美国罗罗公司原研发工程师、西北工业大学客座教授)

贺 利(中国国际航空股份有限公司原副总裁)

陶 智(北京航空航天大学副校长、教授)

高德平(南京航空航天大学能源与动力学院教授)

蒋浩康(北京航空航天大学能源与动力工程学院教授)

蔡元虎(西北工业大学动力与能源学院教授)

滕金芳(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 言

作为创新型国家的标志工程,大型飞机研制重大科技专项已于2007年2月由国务院正式批准立项。为了对该项重大工程提供技术支持,2008年5月,上海交通大学出版社酝酿“大飞机出版工程”,并得到了国家出版基金资助,现已正式立项。“航空发动机系列丛书”是“大飞机出版工程”的组成部分。

航空发动机为飞机提供动力,是飞机的核心,是航空工业的重要支柱,其发展水平是一个国家综合国力、工业基础和科技水平的集中体现,是国家重要的基础性战略产业,被誉为现代工业“皇冠上的明珠”。新中国成立以来,发动机行业受到国家的重视,从无到有,取得了长足的进步,但与航空技术先进国家相比,我们仍有较大差距,飞机“心脏病”的问题仍很严重,这已引起国家高度重视,正采取一系列有力措施,提高科学技术水平,加快发展进程。

航空发动机经历了活塞式发动机和喷气式发动机两个发展阶段。在第二次世界大战期间,活塞式发动机技术日臻成熟,已达到很高水平,但由于其功率不能满足不断提高的对飞行速度的要求,加之螺旋桨在高速时尖部激波使效率急剧下降,也不适合高速飞行,这些技术方面的局限性所带来的问题表现得日益突出,客观上提出了对发明新式动力装置的要求。在此背景下,1937年,英国的 Frank Whittle, 1939年德国的 von Ohain 在相互隔绝的情况下,先后发明了喷气式发动机,宣布了喷气航空新时代的来临。喷气发动机的问世,在很短的时间内得到了飞速发展,在很大程度上改变了人类社会的各个方面,对科学技术进步和人类生活产生了深远的影响。

喷气式发动机是燃气涡轮发动机的一种类型,自其问世以来,已出现了适于不

同用途的多种类型,得到了长足的发展。在 20 世纪的下半叶,它已占据航空动力装置的绝对统治地位,预计起码在 21 世纪的上半叶,这种地位不会改变。现在一般所说的航空发动机都是指航空燃气涡轮发动机。本系列丛书将只包含与这种发动机有关的内容。

现代大型客机均采用大涵道比涡轮风扇发动机,它与用于战斗机的小涵道比发动机有一定区别,特别是前者在低油耗、低噪声、低污染排放、高可靠性、长寿命等方面有更高的要求,但两者的基本工作原理、技术等有很大的共同性,所以除了必须指明外,本系列丛书不再按大小涵道比(或军民用)分类型论述。

航空发动机的特点是工作条件极端恶劣而使用要求又非常之高。航空发动机是在高温、高压、高转速特别是很快的加减速瞬变造成应力和热负荷高低周交变的条件下工作的。以高温为例,目前先进发动机涡轮前燃气温度高达 $1800\sim 2000\text{ K}$,而现代三代单晶高温合金最高耐温为 1376 K ;这 600 多度的温度差距只能靠复杂的叶片冷却技术和隔热涂层技术解决。发动机转速高达 $10000\sim 60000\text{ r/min}$,对应的离心加速度约为 100000 g 的量级,承受如此高温的叶片在如此高的离心负荷下要保证安全、可靠、长寿命工作,难度无疑是非常之高的。

航空发动机是多学科交融的高科技产品,涉及气动力学、固体力学、热力学,传热学、燃烧学、机械学、自动控制、材料学、加工制造等多个学科。这些学科的科学问题,经科学家们长期的艰苦探索、研究,已取得很大成就,所建立的理论体系,可以基本反映客观自然规律,并用以指导航空发动机的工程设计研制。这是本系列丛书的基本内容。但是必须指出,由于许多科学问题,至今尚未得到根本解决,有的甚至基本未得到解决,加之多学科交叉,大大增加了问题的复杂性,人们现在还不能完全靠理论解决工程研制问题。以流动问题为例,气流流过风扇、压气机、燃烧室、涡轮等部件,几何边界条件复杂,流动性质为强三维、固有非定常、包含转换过程的复杂湍流流动,而湍流理论至今基本未得到解决,而且在近期看不见根本解决的前景。其他学科的科学问题也在不同程度上存在类似情况。

由于诸多科学问题还未得到很好解决,而客观上又对发展这种产品有迫切的需求,人们不得不绕开复杂的科学问题,通过大量试验,认识机理,发现规律,获取知

识,以基本理论为指导,理论与试验数据结合,总结经验关系,制定各种规范……并以此为基础研制发动机。在认识客观规律的过程中,试验不仅起着揭示现象、探索机理的作用,也是检验理论的最终手段。短短七八十年,航空发动机取得如此惊人的成就,其基本经验和技術途径就是如此。

总之,由于科学问题未得到很好解决,多学科交叉的复杂性,加之工作条件极端恶劣而使用要求又非常之高的特点,使得工程研制的技术难度很大,这些因素决定了航空发动机发展必须遵循以大量试验为支撑的技术途径。

随着计算机和计算数学的发展,计算流体力学、计算固体力学和计算传热学、计算燃烧学等取得了长足的进展,对深入认识发动机内部复杂物理机理、优化设计和加速工程研制进程、逐步减少对试验的依赖起着非常重要的作用。但是由于上述诸多科学问题尚未解决,纯理论的数值计算不能完全准确反映客观真实,因而不能完全据此进行工程研制。目前先进国家的做法,仍是依靠以试验数据为基础建立起来的经验关联关系。在数值技术高度发展的今天,人们正在做出很大的努力,利用试验数据库修正纯理论的数值程序,以期能在工程研制中发挥更大作用。

钱学森先生曾提出技术科学的概念,它是搭建科学与工程之间的桥梁。航空发动机是典型的技术科学,而以试验为支撑的理论、经验关系、设计准则和规范等则是构建此桥梁的水泥砖石。

对于航空发动机的科学、技术与工程之间的关系及其现状的上述认识将反映在本系列丛中,并希望得到读者的认同和注意。

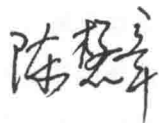
“发动机系列丛书”涵盖总体性能、叶轮机械、燃烧、传热、结构、固体力学、自动控制、机械传动、试验测试、适航等专业方向,力求达到学科基本理论的系统性,内容的相对完整性,并适当结合工程应用。丛书反映了学科的近期和未来的可能发展,注意包含相对成熟的先进内容。

本系列丛书的编委会由来自高等学校、科研院所和工业部门的教师和科技工作者组成,他们都有很高的学术造诣,丰富的实际经验,掌握全局,了解需求,对于形成系列丛书的指导思想,确定丛书涵盖的范围和内容,审定编写大纲,保证整个丛书质量,发挥了不可替代的重要作用。我对他们接受编委会的工作,并做出了重要贡献

表示衷心感谢。

本系列丛书的编著者均有很高的学术造诣,理论功底深厚,实际经验丰富,熟悉本领域国内外情况,在业内得到了高度认可,享有很高的声望。我很感谢他们接受邀请,用他们的学识和辛勤劳动完成本系列丛书。在编著中他们融入了自己长期教学科研生涯中获得的经验、发现和创新,形成了本系列丛书的特色,这是难能可贵的。

本系列丛书以从事航空发动机专业工作的科技人员、教师和与此专业相关的研究生为主要对象,也可作为本科生的参考书,但不是本科教材。希望本丛书的出版能够有益于航空发动机专业人才的培养,有益于提高行业科学技术水平,有益于航空工业的发展,为中国航空事业做出贡献。



2013年10月

前 言

随着航空技术的进步,作为航空燃气轮机的主要支撑学科——涡轮气体动力学在近二十年得到了迅速发展,新的物理现象不断被发现和认识,新的设计方法也不断涌现,这些研究进展使得涡轮气动设计能力得到快速提升,设计水平迈上了一个新台阶。最为经典的例子即“calming”效应的发现及其在设计中的成功应用等,使得现代大涵道比涡扇发动机低压涡轮的气动负荷水平得到大幅度提高。为了及时反映这些最新研究成果,为我国涡轮气体动力学领域基础研究以及工程设计方法的发展提供参考,著者对近二十年来国内外涡轮气体动力学的研究进展进行了认真梳理,并以此为基础撰写了本书,较为系统地介绍了涡轮内复杂流动机理和气动设计方法等方面的研究成果,期望为我国航空燃气轮机涡轮气体动力学理论和涡轮气动设计技术的发展尽绵薄之力。

全书共分为8章,第1章主要介绍本书涉及的涡轮气体动力学方面相关基本概念,特别突出了随着涡轮气体动力学发展新出现的概念和原有概念的补充及延伸,如表示叶片负荷的 Zweifel 系数、冷气涡轮气动效率的定义等。第2章主要介绍高压涡轮内部的复杂流动机理,包括高压涡轮的气动几何特征、复杂波系的流动图和组织、二次流流动机理及影响因素、冷气与主流的掺混等,并讨论了不同维数的数值评估方法及其误差。第3章主要对低压涡轮几何气动热力学特征和发展趋势进行了阐述,并针对目前低压涡轮气动热力学领域研究的热点问题,系统地介绍了叶片边界层时空演化、叶冠内复杂流动及其与主流相互作用、高负荷低压涡轮端区二次流流动、低雷诺数低压涡轮内部流动等方面的研究成果。第4章介绍高低压涡轮级间过渡段和后承力机匣内部复杂流动及其影响因素,并探讨了过渡段及后机匣通道的气动设计方法。第5章介绍涡轮气动设计方法方面的进展,包括损失模型、低维设计空间上涡轮参数的选取方法、叶片

的造型及三维积叠技术以及近年来的研究热点涡轮精细化设计技术方面的内容。第6章介绍流动控制技术在涡轮中的应用,包括涡轮边界层、端区二次流、叶尖泄漏流动控制以及近年来的研究热点涡轮工作状态调节技术。第7章主要介绍径流涡轮内部复杂流动机理及气动设计技术。第8章对涡轮部件涉及的多学科耦合问题进行了简要介绍,包括涡轮内气热耦合问题、气固耦合问题、气声耦合问题以及多学科设计优化技术等,目前这些研究仍是涡轮方面的研究热点。

本书著者分别来自北京航空航天大学、哈尔滨工业大学和北京理工大学等单位,书中第1章由邹正平和张伟昊撰写;第2章由冯国泰和王松涛撰写;第3章由邹正平和张伟昊撰写;第4章由刘火星撰写;第5章5.4.3.2节和5.5节由刘火星和王松涛撰写,其余部分由邹正平撰写;第6章由刘火星撰写;第7章由杨策撰写;第8章由张伟昊和邹正平撰写。

本书著者多年来一直从事涡轮气体动力学方面的相关研究,在此期间,得到很多老师的关心、支持和帮助,在此特别感谢北京航空航天大学的陈懋章院士、徐力平教授、蒋浩康教授、方韧教授等,哈尔滨工业大学的王仲奇院士、冯国泰教授等;著者还十分感谢中航工业606所严成忠研究员、中航工业624所周拜豪研究员、中国科学院工程热物理所朱俊强研究员对本书大纲的审阅,他们提出的宝贵意见使得著者受益匪浅;本书部分内容得益于与诸多同行专家如中航工业606所王雷研究员,608所李维和罗建桥研究员,624所曾军、卫刚和黄康才研究员等的交流和合作,并得到他们的大力支持,此外还得到许多学术前辈的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。本书内容参考了著者课题组诸多已毕业同学的博士学位论文,他们是杨琳、叶建、张正秋、李宇、周扬、綦蕾、张红军、张伟昊、霍磊、王鹏、周琨、温风波、卢少鹏等,学位论文中出色的工作丰富了本书的内容。在写作过程中还得到许多研究生的帮助,他们是博士生安玉戈、丁超、产世宁、梁赞、邵飞、李鹏、崔涛、罗磊、王龙飞、王宇峰、王晋声以及硕士生张少博、王磊、何杰、李欢、张颜、周治华、洪博文、张伟等,他们在资料收集整理、公式和图片处理等方面做了大量工作,在此一并表示感谢。著者还要感谢上海交通大学出版社钱方针博士、徐建梅和王珍编辑等,本书正是在她们的督促和帮助下得以顺利出版。

本书的部分内容得到973课题、国家自然科学基金(50776003、51176013)、教育部博士点基金(20101102110011、20111101130002)、航空基础科学基金

(03C51030)等项目的资助,在此表示感谢。

本书的出版得到国家出版基金的资助,在此表示感谢。

本书可供从事燃气轮机教学的教师,航空、地面及舰船燃气轮机等涡轮气体动力学基础和应用基础研究的科研人员以及从事涡轮工程设计的技术人员等参考,也可作为相关专业的研究生以及高年级本科生的参考书。

限于著者的认识和水平,书中不妥之处,敬请批评指正。

邹正平

2014年10月

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》

三期书目(已出版)

- 《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》
《航空涡轮风扇发动机结构》
《航空发动机结构强度设计问题》
《风扇压气机气动弹性力学》(英文版)
《航空燃气轮机涡轮气体动力学:流动机理及气动设计》
《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》
《航空燃气涡轮发动机控制》
《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》
《航空压气机气动热力学理论与应用》
《航空发动机进排气系统气动热力学》
《燃气涡轮发动机性能》(译著)
《燃气涡轮推进系统》(译著)

五期书目

《民用飞机控制系统设计的理论与方法》
《民用飞机飞行控制系统工程》
《民用飞机导航系统》
《民用飞机液压系统》
《民用飞机电源系统》
《民用飞机传感器与测试技术》
《民用飞机飞行仿真技术》
《民用飞机飞控系统适航性》
《大型飞机电传系统试验技术》
《飞行控制系统:设计与实现》(译著)