



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

航空航天科技出版工程

5

动力学与控制

[英]理查德·布洛克利 (Richard Blockley) [美]史维 (Wei Shyy) ©主编

江 驹 周建江 韩 潮 张景瑞 王焕瑾 等©译



*ENCYCLOPEDIA OF
AEROSPACE ENGINEERING 5
Dynamics and Control*

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

WILEY

 AIAA



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

航空航天科技出版工程

5

动力学与控制

[英]理查德·布洛克利 (Richard Blockley) [美]史维 (Wei Shyy) ©主编

江 驹 周建江 韩 潮 张景瑞 王焕瑾 等◎译

*ENCYCLOPEDIA OF
AEROSPACE ENGINEERING 5
Dynamics and Control*

图书在版编目 (CIP) 数据

航空航天科技出版工程. 5, 动力学与控制 / (英) 理查德·布洛克利 (Richard Blockley), (美) 史维 (Wei Shyy) 主编; 江驹等译. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 6

书名原文: Encyclopedia of Aerospace Engineering

国家出版基金项目 “十二五” 国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5682-2397-3

I. ①航… II. ①理… ②史… ③江… III. ①航空工程-飞行力学②航空工程-飞行控制③航天工程-飞行力学④航天工程-飞行控制 IV. ①V

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 120112 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2013-1965 号

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Beijing Institute of Technology Press Co., LTD and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

封面图片来源:



源自 ONERA, France



源自 Shutterstock



源自 Shutterstock



源自 EADS Astrium

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 889 毫米×1194 毫米 1/16

印 张 / 42

字 数 / 1216 千字

版 次 / 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

定 价 / 248.00 元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

航空航天科技出版工程

译审委员会

主任 杜善义

副主任 李椿萱 余梦伦 黄瑞松 叶培建 唐长红 甘晓华

委员 (按姓氏笔画排序)

才满瑞 刘 莉 杨 超 昂海松 周志成 唐胜景 熊 克

翻译委员会

主任 刘 莉

副主任 朱春玲 赵 宁 江 驹

委员 (按姓氏笔画排序)

万志强 马东立 王晓芳 王焕瑾 王锁柱 毛军远 古兴瑾
龙 腾 朱程香 向彩霞 刘东旭 齐艳丽 孙康文 孙慧玉
杜 骞 杜小菁 李 书 李 响 李世鹏 杨春信 肖天航
吴小胜 吴志刚 宋 晨 宋豪鹏 张景瑞 陈永亮 武志文
林 海 昂海松 周光明 周建江 周思达 周储伟 郑祥明
徐 军 徐 明 郭 杰 唐胜景 黄晓鹏 龚 正 韩 潮
韩启祥 谢 侃 谢长川 雷娟棉 谭慧俊 熊 克 冀四梅

审校委员会

主任 林 杰

副主任 樊红亮 李炳泉

委员 (按姓氏笔画排序)

于 勇 王佳蕾 王玲玲 王美丽 尹 晔 白照广 多海鹏
祁载康 杜春英 李秀梅 杨 侧 张云飞 张海丽 张鑫星
陈 竑 季路成 周瑞红 孟雯雯 封 雪 钟 博 梁铜华

推荐序

航空航天是国家的战略产业，其科技水平直接决定着综合国力和国家安全。近年来，我国航空航天科技水平得到显著提升，在若干领域取得了举世瞩目的成就。在建设航空航天强国的进程中，广大科技人员需要学习和借鉴世界航空航天科技的最新成就。《航空航天科技出版工程》是综合反映当今世界范围内航空航天科技发展现状和研究前沿的一套丛书，具有系统性、学术性、前沿性等特点。该丛书的翻译和出版，为我国科技工作者学习和借鉴世界航空航天科技提供了一个良好平台。

《航空航天科技出版工程》英文版由美国 WILEY 出版公司和 AIAA（美国航空航天学会）联合出版。全世界 34 位来自航空航天领域的顶级专家组成丛书顾问团，负责对丛书进行规划指导，来自美国、英国、德国、法国等国家的 600 多位著名专家参与丛书撰写。该丛书是当今世界上最为系统和权威的航空航天科技丛书，共有 9 卷、近 5000 页，涵盖航空航天科技的 43 个领域主题，442 个章节。该丛书对航空航天科技所涉及的重要概念、理论、计算、实验等进行了系统阐述，并配有大量工程实践案例，主要内容包括：流体动力学与空气热力学、推进与动力、结构技术、材料技术、动力学与控制、环境影响与制造、飞行器设计、系统工程等。最难能可贵的是，该丛书对航空航天工程的战略决策、实施路径、技术应用、实践验证和评价等方面进行了系统阐释，对未来二十年面临的挑战和机遇进行了深入分析。

该丛书中有些专题研究在我国尚属起步阶段，不少内容是国内紧缺的文献资料。例如，丛书对高超声速稀薄气体动力学、扑翼空气动力学、高超声速气动热弹性、多运动体协调控制、多种飞行器融合、深空探测、航天系统设计认证等领域的介绍颇有参考价值。丛书内容不仅适用于国防领域，而且适用于民用领域，对我国航空航天科技发展具有指导意义。

北京理工大学是我国首批设立火箭、导弹等专业的高校，曾为我国航天事业的创立和发展做出重要贡献，近年来又在深空探测、制导武器、空间信息处理等领域取得重要进展。该丛书英文版问世不久，北京理工大学出版社敏锐地预判到该丛书对我国航空航天科技发展具有重要借鉴作用，提出翻译这套巨著的设想。北京理工大学航空航天学科的教授们积极投身于翻译丛书的策划中，他们联合我国高校、研究机构中一



批长期从事航空航天科技工作的教师和工程技术人员组成团队，仅用一年多时间就将这套巨著译为中文。我帮助他们邀请到丛书英文版顾问、著名航天结构力学家杜善义院士担任译审委员会主任，邀请到我国航空航天科技领域的多位领军科学家、总设计师共同负责丛书译审，进而确保中文版的科学性、准确性、权威性。

作为长期从事航空航天科技工作的学者，看到这套丛书即将问世由衷高兴。我认为，该丛书将为我国航空航天科技工作者提供一套不可多得的工具书，有利于提升我国航空航天科技水平，有利于促进我国航空航天科技与世界航空航天科技的有效对接，有利于推动我国建设航空航天强国。因此，我郑重向航空航天科技界的同行们推荐这套丛书。

中国科学院院士
北京理工大学校长

译者序

航空航天的发展水平体现了一个国家的综合实力。我国高度重视航空航天技术的创新发展，将航空航天产业列入国家战略性新兴产业和优先发展的高技术产业。近年来，国家科技重大专项（如大型飞机、载人航天与探月工程、高分辨率对地观测、航空发动机与燃气轮机等）的实施带动了我国航空航天技术的迅猛发展。

航空航天技术的发展日新月异并呈现出学科化和国际化的特征，国内学者需要一套系统全面的丛书，来巩固现有的知识、了解国际前沿发展动态、紧盯航空航天科技前沿。《航空航天科技出版工程》正是这样的一套技术研究丛书。北京理工大学出版社在组织专家对英文版《航空航天科技出版工程》的章节标题及主要内容进行翻译和评审后，发现该丛书内容翔实、信息丰富、学科体系完整，具有较高的前瞻性、探索性、系统性和实用性，是一套对中国航空航天领域有较强学习与借鉴作用的专著。因此，出版社决定引进、出版本套丛书的中文版。

英文版《航空航天科技出版工程》由美国 WILEY 出版公司和 AIAA（美国航空航天学会）联合出版，主编为 Richard Blockley（英国克兰菲尔德大学航空航天顾问、英国 BAE 系统公司前技术总监）和 Wei Shyy（原美国密歇根大学航空航天工程系教授兼系主任），历经多年，完成了 9 卷的出版。各章均由活跃在全球航空航天各专业领域研究一线的专家执笔，集成了编写团队在航空航天科技领域的重要科学研究成果和宝贵的科学试验数据。

《航空航天科技出版工程》从力学、动力及推进技术、制导和控制技术、电子仪表技术、通信技术、计算机科学、系统工程、材料科学、加工和制造技术及空间物理学等多个相互支撑的学科技术领域，全面而系统地阐述航空航天领域所涉及的知识，综合体现了目前航空航天技术的国际水平。9 卷包括《流体动力学与空气热力学》《推进与动力》《结构技术》《材料技术》《动力学与控制》《环境影响与制造》《飞行器设计》《系统工程》《航空航天专业术语》。丛书中文版配有丰富的原版插图、表格以及大量的图片资料，最大程度地保留了原版书的编写风格。该丛书对于国内的科研和技术人员，以及承担着未来航空航天技术开发的年轻人和学生来说，都无疑是一套非常好的参考资料。



北京理工大学出版社依托北京理工大学、南京航空航天大学、北京航空航天大学、中国航天科工集团北京航天长征科技信息研究所、中国航天科技集团空间技术研究院等国内从事航空航天技术研究的高校和科研院所，组建了翻译团队和专家译审团队，对《航空航天科技出版工程》进行翻译。

《航空航天科技出版工程5 动力学与控制》包含飞行力学、飞行控制系统、雷达、轨迹和轨道力学、姿态动力学和航天器轨道控制5个部分，由江驹、周建江、韩潮、张景瑞、王焕瑾、陈永亮、宋彦国、龚正、潘捷、徐明、杜洁、蔡丽青、王洪欣、潘婷婷、欧超杰、雷安旭、胡权、张尧、苏飞、蔡晗、许涛、赵书阁、胡星、郭子熙、何慧东、曾豪翻译。特别感谢出版社引进本书，更感谢各位院士学者们对此书出版的大力支持。译、校者虽在译文、专业内容、名词术语等方面进行了反复斟酌，并向有关专业人员请教，但限于译、校者的水平与对新知识的理解程度，谬误和不当之处恳请读者批评、指正。

翻译委员会

英文版序

能够受邀介绍这部航空航天丛书，我们和各自代表的学会都感到非常的荣幸和愉快。

毫无疑问，这部丛书体现了英国皇家航空学会和美国航空航天学会最大的期望。我们这两个学会都在寻求推进航空航天知识体系进步的方法，同时也都认识到航空航天领域具有动态、多学科和跨国界的特性。

这部丛书是一个独特的工具。它提供了涉及很多方面的快照，包含：全球共享的知识体系、全球企业共享的观念、共享的技术展望和挑战、共享的发展节奏、新方法和新视野，尤其是共享的对教育和培训重要性的关注——所有这些都是关于一个工业领域和一组学科，是它们塑造了并将继续改变我们所生活的世界。

这个共享的知识体系超出了国家的、商业的、组织的和技术学科的界限。在这个界限中我们进行着日复一日的工作，虽然这些工作必然引起经常的竞争，但也总是激发创新性和建设性的尝试。因此，我们怀着无比激动的心情看到了一项完全专业性工作的开展，它尝试着将这个知识体系的精华以全新的形式整理和出版。

航空航天领域对我们世界的影响是巨大的。早期的空气动力学创立者，从 George Cayley 爵士到 Wright 兄弟，都难以想象航空工业、更不必说太空飞行是如何彻底改变了我们的文明世界：它使我们的星球变成了一个很小的区域、允许瞬时联系全球任何地方、提供大范围的人和物资运输以及可以从外太空独特的视角来观看我们的星球和人类自己。航空航天工程师不仅直接为我们收集的知识体系做出了贡献，还驱动了广大的相关领域的进步，从基础的数学、电子学和材料科学到生物学和人因工程。因此，说这部丛书捕捉到了该领域当下的精华是非常恰当的。

对于内容广泛的航空航天工程技术和研究领域，提取其关键要素形成一个相互关联的框架结构，并不具备明显的可能性，更不要说涉及诸多细节。然而这部丛书正是要雄心勃勃地尝试做到这些，甚至更多。从这点看，这部丛书是一个勇敢的、有远见的、有胆识的计划。

这部丛书勾画出了我们领域最好和最醒目的专门技术，其成果是对发起者和作者们最好的回报，这些人值得我们向他们对航空航天行业做出的贡献表示祝贺。



虽然这部丛书的目标是达到相当的深度，但从实用的角度，这部丛书被设计成非常容易阅读和理解。我们希望读者看到这部丛书并可以广泛地应用，包括作为权威的参考书目、作为学习和专业发展的重要工具，或许可以作为课程作业和技术模块设计跨国界、跨机构可信赖的测试基准。

正值载人动力飞行第二个百年开始，太空的前景似乎正在不断复苏，这部丛书的出版是航空航天工程和科学持续发展的里程碑和标志。

我们非常自豪地、共同地将这部丛书推荐给你们。

Dr. Mark J. Lewis

美国航空航天学会主席

马里兰大学帕克分校航空航天工程系主任、教授，马里兰州，美国

Dr. Mike Steeden

英国皇家航空学会主席，英国

英文版前言

航空航天工程的历史可以追溯到早期希腊的哲学家亚里士多德和阿基米德，经哥白尼、伽利略、达·芬奇、牛顿、伯努利和欧拉到 19 世纪伟大的机械师纳威、斯托克顿和雷诺以及许多其他研究者，一直到 1903 年由莱特兄弟第一次成功地起飞了一台比空气重的动力机器。从普朗特、冯·卡门、惠特尔、冯·奥西恩、屈西曼、冯·布劳恩和科罗廖夫（这里只给出了少数的名字）等人开创性的成就，仅仅过去一个世纪的时间，航空器和航天器就以一种让最有远见的现代飞行预见者都震惊的速度得到了发展。超音速飞行（具有代表性的协和号客机、SR71 黑鸟式侦察机）、人类在月球上行走以及航天器向太阳系的远端航行，这些都是顽强不屈的技术探索的见证。

几代哲学家、科学家和工程师的工作使航空航天工程形成一个确定的学科，而且需要持续对新的商业、环境和安全相关因素、科学技术领域其他学科的进展、之前未探索的飞行器设计概念、推进、结构与材料、控制、导航和动力学、通信、航空电子、天基系统与旅行中的技术挑战等做出响应。航空航天工程产品是科学与技术多学科综合的产物，当航空器和航天器中的系统集成变得越来越复杂的时候，前所未有的设计挑战出现了，一个部门就需要借鉴不同领域的专业知识。因此，工程师们不仅需要专注于专门知识，还需要将他们的知识扩展到更广泛的学科领域。

本套书的主要目的是：为本科生、研究生以及学术界、工业界、研究机构和政府部门中的专业人士提供一个随手可得的、涵盖航空航天工程主要学科的专用参考书。本套书阐述了基本科学概念及其在当前工程实践中的应用，并将读者引导到更专业的书籍中。

本套书包含 442 篇文章，划分为 43 个领域主题，围绕科学基础和当前的工业实践，贯穿了航空航天工程的全部。当本套书被确定在同类著作中最先出版时，编辑团队从支撑航空航天科学、工程与技术研究和开发的专家们那里得到了原作稿件的授权。这些稿件包括力学、推进、导航与控制、电子器件和测量仪表、通信、计算机科学、系统工程、材料科学、生产与制造以及物理学。此外，考虑到当前围绕航空的担忧，环境科学、噪声与排放中的一些特定学科也被包含在本套书中。



本套书由热心的、杰出的国际顾问委员会指导编写，委员会由 34 名来自学术界、工业界和研究中心的委员组成。在顾问委员会的指导下，我们确定了一个主要作者团队，由他们来确定每个主题覆盖的范围，并选择了有能力来贡献他们文章的合适的作者。

在本套书的引导章节中，包含了系统思想的概念和在可预见的未来航空航天工程师们将面临的挑战。在顾问委员会和主要作者团队的大力帮助下，我们试图包含有人、无人航空器和航天器领域中所有的主题，然而我们意识到还有一些重要的主题没有涉及，或是因为我们没有及时注意到它们，或是由于作者没能赶上最后的出版期限。我们打算将后续的投稿和最新的进展放在每年的在线更新中。

非常遗憾，我们的一位主题作者 Philip Pugh 于 2009 年 1 月去世了，他为第 37 部分的规划和前期实施做出了难以估量的贡献。我们也非常感谢 David Faddy 继续完成了这一部分的工作。

Richard Blockley

克兰菲尔德大学航空航天顾问，克兰菲尔德，英国
BAE 系统公司前技术总监，法恩伯勒，英国

Wei Shyy

密歇根大学航空航天工程系，安娜堡，密歇根州，美国

目 录



第22部分 飞行力学

■ 第 212 章 航空飞行器飞行力学、稳定性与操纵性简介 3

- 1 背景 3
- 2 六自由度 3
- 3 飞机稳定性 4
 - 3.1 静稳定性 4
 - 3.2 动稳定性 4
- 4 垂直/短距起降飞机的稳定性和操纵性 5
 - 4.1 旋翼式垂直/短距起降 (V/STOL) 飞机 5
 - 4.2 喷流式垂直/短距起降 (V/STOL) 飞机 6
- 5 结论 8
- 致谢 8
- 参考文献 8

■ 第 213 章 固定翼飞机的起飞和着陆性能 10

- 1 引言 10
- 2 起飞 10
- 3 着陆 11
- 4 风的影响 12
- 5 几个重要的空速定义 12
- 6 发动机停车 13
- 7 起飞距离 13
- 8 着陆距离 14
- 9 跑道摩擦特性 14
- 10 海航飞机的发射 14
- 11 海航飞机的着舰 14

- 12 从倾斜跑道起飞 (滑跃起飞) 的好处 15
- 13 短距起降技术 16
- 14 起飞距离计算公式 16
 - 14.1 地面滑跑 16
 - 14.2 起飞空中距离 (抬前轮到安全高度) 17
- 15 着陆距离计算公式 17
 - 15.1 空中减速距离 (从安全高度至接地) 17
 - 15.2 地面滑跑距离 18
- 16 跑道坡度的影响 18
- 17 螺旋桨飞机 18
- 18 结论 18
- 术语 18
- 参考文献 19

■ 第 214 章 固定翼飞机的爬升和下滑性能 20

- 1 引言 20
- 2 定义和符号 20
 - 2.1 机体坐标系 20
 - 2.2 迎角、航迹倾角和俯仰角 20
 - 2.3 作用在飞机上的主要力 21
- 3 基本运动方程 21
 - 3.1 飞机的曲线运动 21
 - 3.2 爬升和下滑的一般方程 21
- 4 爬升性能 21
 - 4.1 爬升类型 21
 - 4.2 客机典型的爬升速度表 22
 - 4.3 爬升角和爬升梯度 22
 - 4.4 涡喷/涡扇发动机飞机的最佳爬升角 23



4.5 活塞螺旋桨发动机的最佳爬升角	23
4.6 爬升率	24
4.7 涡喷/涡扇飞机的最佳爬升率	25
4.8 活塞螺旋桨飞机的最佳爬升率	25
4.9 爬升时间	26
4.10 风对爬升性能的影响	26
5 升限(最大高度)	26
5.1 绝对升限	26
5.2 实用升限	27
5.3 单发停车时的使用升限	27
6 下滑飞行性能	27
6.1 下滑角和下滑梯度	27
6.2 下滑率	27
7 总结	28
术语	28
参考文献	29

■ 第 215 章 固定翼运输机的机动性能 ... 30

1 引言	30
2 过载系数、升力、阻力和需用推力 ... 30	30
2.1 过载系数	30
2.2 升力	30
2.3 阻力	31
2.4 升阻比	31
2.5 需用推力	32
3 转弯性能	32
3.1 引言	32
3.2 水平协调转弯过程中的滚转角	32
3.3 水平协调转弯时的转弯速率	33
3.4 水平协调转弯的转弯半径	33
3.5 持续水平转弯	33
3.6 瞬时转弯	34
4 俯仰机动	34
5 气动失速	34
5.1 气动失速简介	34
5.2 影响失速速度的因素	35
5.3 高速抖振	35
5.4 基准失速速度	36
6 飞机设计限制	36
6.1 结构的完整性	36
6.2 $v-n$ 图	37
7 总结	38
术语	38

参考文献	39
------------	----

■ 第 216 章 固定翼战斗机的机动性能 ... 40

1 引言	40
2 能量法	40
2.1 能量高度 h_e	40
2.2 单位剩余功率 P_s	40
2.3 最大能量上升轨迹	41
2.4 最大爬升率上升与最大能量上升	41
3 爬升性能	42
3.1 大角度爬升	42
3.2 加速爬升	42
4 转弯性能	42
4.1 考虑单位剩余功率的转弯性能	43
4.2 上升转弯	43
5 性能指标	44
5.1 单位剩余功率图	45
5.2 动态速度转弯图	45
5.3 空战周期时间	45
5.4 指向裕度	46
5.5 Kutschera 指标	46
6 新技术	47
6.1 放宽静稳定性	47
6.2 鸭翼构型	48
6.3 推力矢量	48
6.4 推力矢量对水平转弯的影响	48
7 结论	49
致谢	49
术语	49
参考文献	49

■ 第 217 章 固定翼飞机的巡航性能 ... 51

1 引言	51
2 动力装置的定义和符号	51
2.1 净燃油流量	51
2.2 燃油消耗率	51
2.3 螺旋桨的效率	52
3 喷气式飞机的航程(额定推力发动机)	52
3.1 大气航程	52
3.2 基本航程方程	52
3.3 航程评估方程	53
3.4 飞行方案 1: h 和 C_L 为常数	53
3.5 飞行方案 2: v 和 C_L 为常数	54



3.6 飞行方案3: h 和 v 为常数	54	2 机翼的俯仰力矩方程	71
3.7 喷气式飞机航程最大的飞行条件	55	3 平均空气动力弦和重心	72
4 具有额定功率发动机的飞机航程	56	4 飞机的俯仰力矩方程	72
4.1 基本航程方程	56	5 握杆纵向配平	73
4.2 飞行方案1和2: C_L 为常数	56	6 松杆时的纵向配平	73
4.3 飞行方案3: h 和 v 为常数	56	7 握杆静稳定	74
5 喷气式飞机的航时(额定推力发动机)	57	8 松杆静稳定性	74
5.1 基本航时方程	57	9 配平阻力	75
5.2 航时方程计算	57	10 拉起机动	75
5.3 飞行方案1和2: C_L 为常数	57	握杆机动裕度	75
5.4 飞行方案3: h 和 v 为常数	57	11 一般性考虑	76
5.5 最大航时飞行条件	57	术语	76
5.6 待机	58	译者注	77
6 额定功率发动机飞机的航时	58	参考文献	77
6.1 基本航时方程	58	延伸阅读	77
6.2 飞行方案1: h 和 C_L 为常数	58	■ 第220章 横向静稳定性	78
6.3 飞行方案2: v 和 C_L 为常数	58	1 引言	78
6.4 飞行方案3: h 和 v 为常数	58	2 飞机的构型和横向操纵系统	78
6.5 最大航时的飞行条件	59	3 横向稳定性术语	79
7 商载航程和航程燃油(喷气式飞机)	59	4 坡度转弯	79
7.1 商载航程	59	5 空中最小操纵速度	79
7.2 给定巡航距离所需燃油	59	6 飞机在直线飞行中的滚转	80
7.3 航程燃油估计(空中近似)	59	7 滚转稳定性	81
8 总结	60	8 偏航稳定性	82
术语	60	9 结论	82
参考文献	61	术语	82
■ 第218章 旋翼飞行力学	62	参考文献	83
1 需用功率随前飞速度的变化	62	延伸阅读	83
2 爬升	64	■ 第221章 纵向动稳定性	84
3 最大航程和航时	64	1 引言	84
4 自转	65	2 拉普拉斯形式的纵向运动线化方程	84
5 垂直飞行的流态和影响涡环状态的因素	67	3 纵向运动模态的三自由度分析方法	85
6 地面效应	68	4 两自由度的短周期近似方法	86
7 旋翼/尾桨干扰	69	5 两自由度长周期近似方法	87
8 总结	69	6 总结/展望	89
术语	69	参考文献	90
相关章节	70	延伸阅读	90
参考文献	70	■ 第222章 固定翼飞机的横、航向动稳定性	91
■ 第219章 纵向静稳定性	71	1 引言	91
1 引言	71	2 基本方程的建立	91
		3 运动方程组的线化	93



4 运动模态	96	4 横、航向动稳定性——低速和操纵响应	
5 螺旋模态	96	和动稳定性——悬停与前飞状态	116
6 滚转收敛模态	97	4.1 横、航向操纵响应	116
7 荷兰滚模态	98	4.2 横、航向动稳定性	117
8 非线性效应	100	5 飞行试验技术	118
9 结论	101	5.1 滚转操纵响应	118
术语	101	5.2 螺旋模态	118
注脚	102	5.3 纵向动稳定性模态	119
译者注	102	5.4 交叉耦合特性	119
参考文献	102	6 非常规构型	119
■ 第 223 章 旋翼飞行器的静稳定性	103	7 结论	120
1 引言	103	术语	120
2 术语	103	致谢	121
2.1 配平	103	相关章节	121
2.2 稳定性和操纵性	104	参考文献	121
3 静稳定性分区	104	■ 第 225 章 固定翼飞行器的操纵和	
4 旋翼系统	105	飞行品质	122
5 稳定性和操纵导数	106	1 飞行器的操纵	122
6 前飞时的静稳定性和机动稳定性	106	2 飞行器飞行品质简介和历史背景	122
6.1 纵向静稳定性	107	3 飞行员操纵——库珀 哈珀驾驶员评价	
6.2 机动稳定性	107	尺度	123
6.3 横、航向静稳定性	107	4 模态特性和飞行器的飞行品质	124
7 悬停和低速飞行的静稳定性	108	5 模态特性的改善——增稳和控制	
8 静稳定性的测试	108	增稳系统	125
8.1 纵向静稳定性试验	109	6 回到源头——驾驶员的数学模型	127
8.2 机动稳定性试验	109	7 飞行品质和无人驾驶飞行器	
9 非常规布局	109	(UAVs)	129
10 结论	110	8 总结	129
术语	110	术语	129
致谢	111	译者注	130
相关章节	111	参考文献	130
参考文献	111	■ 第 226 章 旋翼飞行器的操纵和驾驶	
■ 第 224 章 旋翼飞行器的动稳定性	112	品质	131
1 引言	112	1 常规构型旋翼飞行器的操纵	131
2 直升机部件、气动导数和工程参数	112	1.1 简介	131
2.1 直升机部件	112	1.2 旋翼操纵	131
2.2 气动导数	113	1.3 无铰旋翼	134
2.3 工程参数	114	1.4 桨毂设计	134
3 纵向动稳定性——低速/悬停和操纵响应		2 驾驶品质	135
和动稳定性——前飞状态	114	2.1 纵向运动	135
3.1 纵向操纵响应	114	2.2 横、航向运动	135
3.2 纵向动稳定性	115	2.3 驾驶品质要求	136



3 结论	137	2.8 无方向性信标 (NDB)	154
术语与符号	138	2.9 甚高频全向无线电信标 (VOR)	154
注解	138	2.10 战术空中导航系统 (塔康导航系统, TACAN)	154
相关章节	138	2.11 测距装置 (DME)	154
参考文献	138	2.12 远程导航 LORAN 系统	154
■ 第 227 章 制导武器的稳定性及控制	139	3 惯性导航	155
1 引言	139	3.1 惯性导航理论	155
2 配平	139	3.2 坐标系	155
3 稳定性	140	3.3 加速度计	156
3.1 静稳定性	140	3.4 陀螺仪	156
3.2 动稳定性	141	3.5 MEMS 传感器	156
3.3 稳定导数	142	4 卫星导航	157
4 气动布局	144	4.1 卫星导航系统	157
4.1 简介	144	4.2 原理	158
4.2 滚转稳定弹	144	4.3 误差、可用性和精度	158
4.3 滚转弹	144	4.4 增强系统的完好性和精度	159
4.4 非滚转弹	144	5 结论	159
4.5 侧滑转弯和倾侧转弯对比	144	参考文献	159
5 控制	144	■ 第 229 章 制导武器与无人机的导航与路径规划	161
5.1 简介	144	1 导弹和无人机的 GPS 和 INS 问题	161
5.2 尾翼控制	145	1.1 全球定位系统 (GPS)	161
5.3 主翼控制	145	1.2 惯性导航系统 (INS)	162
5.4 鸭翼控制	145	1.3 惯性导航算法	163
5.5 格栅翼	145	1.4 GPS/INS 集成	164
5.6 导弹对控制舵面偏转的响应	146	2 地形剖面匹配系统 (TERPROM) 和地形匹配系统 (TERCOM) 的理论与实践	165
5.7 气动干扰	147	飞机和无人机路径规划	165
6 结论	148	3 战术导弹制导策略	166
延伸阅读	149	3.1 CLOS 及其变种	166
■ 第 228 章 飞机导航	150	3.2 比例导引 (PN) 指引	168
1 引言	150	3.3 脱靶距离	168
1.1 导航	150	4 结论	169
1.2 参考系	150	术语	170
1.3 飞机导航的历史和概念	151	参考文献	171
1.4 导航系统、仪器和设备的要求	152	第 23 部分 飞行控制系统	
2 陆基辅助导航设备	152	■ 第 230 章 控制工程基础	175
2.1 简介	152	1 引言	175
2.2 仪表着陆导航系统 (ILS)	152	2 数学模型	176
2.3 ILS 的种类	153		
2.4 微波着陆导航系统 (MLS)	153		
2.5 应答机着陆系统 (TLS)	153		
2.6 卫星增强系统	153		
2.7 雷达	154		